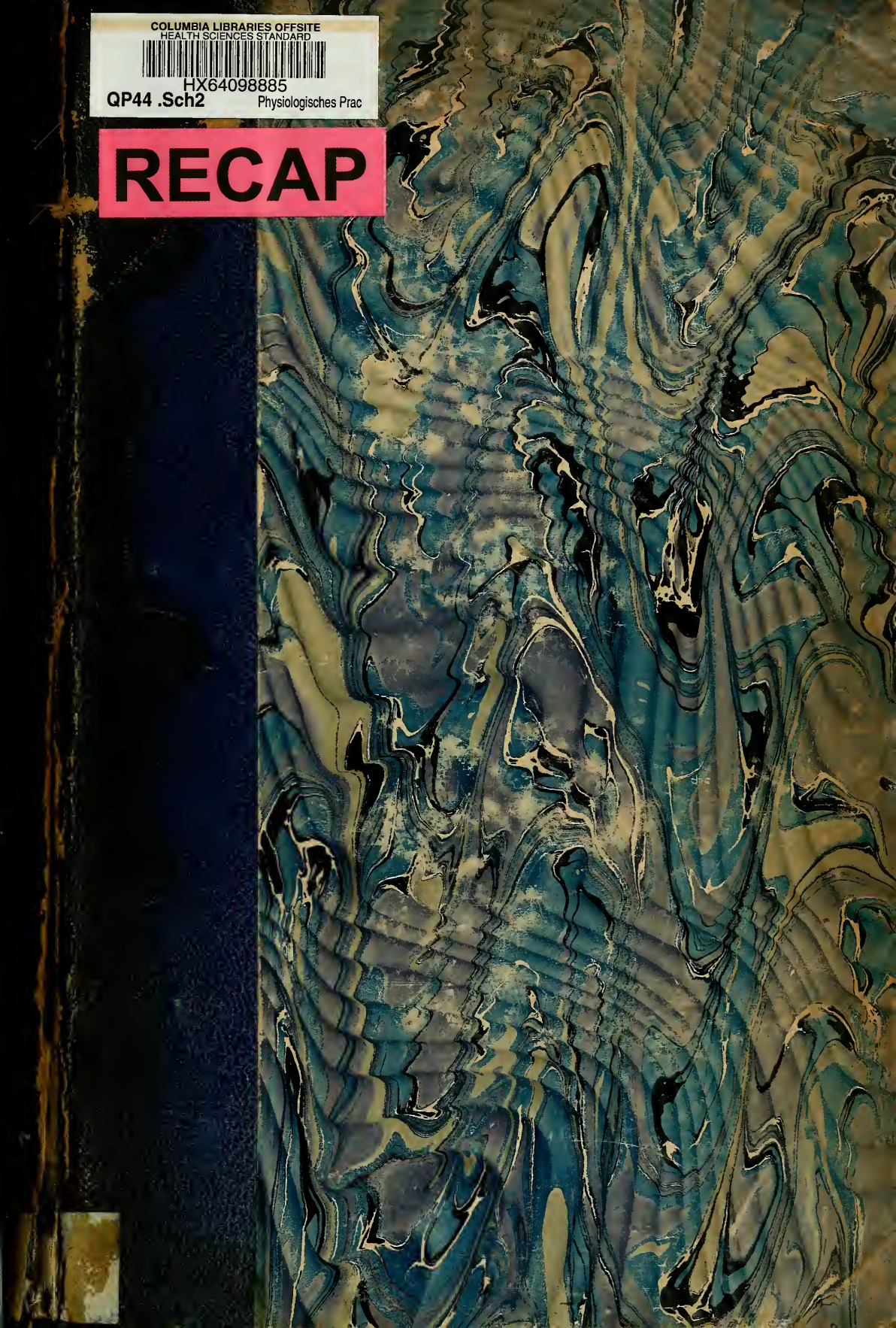
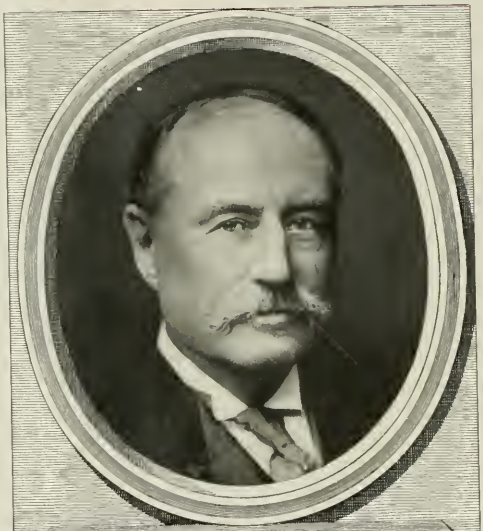
COLUMBIA LIBRARIES OFFSITE
HEALTH SCIENCES STANDARD
HX64098885
QP44 .Sch2 Physiologisches Prac
RECAP



609



COLUMBIA UNIVERSITY
DEPARTMENT OF PHYSIOLOGY
THE JOHN G. CURTIS LIBRARY

PHYSIOLOGISCHES

PRACTICUM.

EINE ANLEITUNG FÜR STUDIRENDE

ZUM GEBRAUCH

IN PRACTISCHEN CURSEN DER PHYSIOLOGIE.

VON

Dr. F. SCHENCK,

PRIVATDOCENT UND ASSISTENT DES PHYSIOLOGISCHEN INSTITUTS
IN WÜRZBURG.

MIT 153 ABBILDUNGEN.

STUTTGART.
VERLAG VON FERDINAND ENKE.
1895.

QP44
Sch2

Druck der Union Deutsche Verlagsgesellschaft in Stuttgart.

MEINEN LEHRERN

EDUARD PFLÜGER

UND

ADOLF FICK

IN DANKBARKEIT UND VEREHRUNG

GEWIDMET.

Vorwort.

Der Aufforderung der Verlagsbuchhandlung, das vorliegende Buch zu schreiben, bin ich gerne nachgekommen, weil ich in den practischen Cursen, die ich hier seit einer Reihe von Jahren geleitet habe, den Mangel eines Buches empfunden habe, das ich dem Practicanten als Führer empfehlen konnte. Das Buch soll eine Anleitung zur Ausführung einer Reihe von Schulversuchen der Physiologie sein, nicht eine solche zu selbstständigen Arbeiten. Es ist daher für den Anfänger im physiologischen Arbeiten geschrieben, den Bedürfnissen des Vorgeschrittenen konnte nur dadurch entsprochen werden, dass durch kurze Hinweise und Literaturcitate die Wege gewiesen wurden, auf denen er weiter in die physiologische Methodik eindringen kann.

Was die Auswahl der Versuche anlangt, so sind aus Gründen, die ich hier nicht zu erörtern brauche, zunächst einmal nicht berücksichtigt die physiologisch-chemische Analyse, die mikroskopische Technik und anatomische Präparationen. Aber auch von den übrig bleibenden Schulversuchen der Physiologie im engeren Sinne sind eine Reihe ausgeschlossen, nämlich folgende:

Erstens die sogenannten schematischen Versuche, d. s. Versuche, in denen die Organe und die Bedingungen, unter denen sie

thätig sind, durch Modelle nachgeahmt werden, um die Vorgänge im Organismus zu veranschaulichen. Es sind das also nicht eigentlich physiologische Versuche, sondern physikalische, und so gross auch ihr didaktischer Werth ist, so sind sie der Natur der Sache nach doch vorwiegend Demonstrationsversuche und gehören weniger ins physiologische Practicum.

Zweitens habe ich mich in der Beschreibung solcher Versuche beschränkt, bei denen das physiologisch Interessante wesentlich in der Selbstbeobachtung liegt — es sind das hauptsächlich Versuche aus der Sinneslehre. Die Vorbereitungen zu solchen Versuchen sind entweder so einfach, dass ihre Beschreibung den Umfang des Buches unnöthiger Weise erweitern würde, z. B. die der Versuche über Contrast, Nachbilder etc. — oder sie bestehen in physikalischen Arbeiten, die kaum ohne vorherige gute practische Schulung in der Physik ausgeführt werden können —, letzteres ist z. B. bei den Versuchen mit Spectralfarben der Fall. Solche Versuche sind daher, wie ich glaube, auch eher Demonstrationsversuche, als Versuche fürs Practicum.

Dass ich in der Auswahl der Versuche immer das Richtige getroffen habe, wage ich nicht zu behaupten. Im Gegentheil glaube ich selbst, dass das Buch in dieser Hinsicht manche Mängel hat. Vielleicht wird es dadurch aber nicht ganz werthlos. Denn es dürfte doch wohl die grösste Zahl der wichtigen einfachen Methoden Berücksichtigung gefunden haben. Es kann überdies nicht unsere Absicht sein, den Practicanten alle Versuche ausführen zu lassen, die er auszuführen im Stande ist — das würde bei der knapp zugemessenen Zeit nur auf Kosten der gründlichen Ausführung der einzelnen Versuche geschehen können —, sondern vielmehr, ihn im physiologischen Arbeiten zu schulen, so dass er sich in der Methodik überhaupt leicht zurecht findet und

gegebenen Falls sich einfache Versuchspläne zu experimentellen Arbeiten selbst entwerfen kann.

Es könnte manchem auffallen, dass die schwierigen Versuche im Vergleich zu einfacheren oft sehr kurz beschrieben sind. Das ist mit Absicht geschehen. Das Buch kann ja die persönliche Belehrung nur unterstützen, nicht ersetzen. Je schwieriger aber ein Versuch ist, je mehr Erfahrung zu seiner genauen Ausführung erforderlich ist, desto nothwendiger wird die persönliche Belehrung und Beihilfe seitens des Lehrers, desto kürzer konnte also die Beschreibung des Versuchs gefasst sein.

Die Anordnung des Stoffes ist nicht so getroffen, dass die Uebungen in „Lectionen", entsprechend den Uebungsstunden, eingetheilt sind. Ich wollte mir nicht anmassen, Jedem, der geneigt sein würde, das Buch zu brauchen, auch gleich das Programm für die Curse vorzuschreiben. Immerhin konnte im Allgemeinen eine bestimmte Anordnung in der Reihenfolge, in der die Versuche angeführt werden — nämlich Beginn mit den leichtesten Versuchen und von da Uebergang zu schwereren —, nicht vermieden werden; auch ist natürlich in den späteren Versuchen die Bekanntschaft mit den in früheren Kapiteln beschriebenen Methoden vorausgesetzt. Es schien mir das Richtigste, mit den leichten Versuchen der Muskel- und Nervenphysik zu beginnen, zumal da bei diesen die Principien mehrerer wichtiger Methoden, die in anderen Kapiteln wiederkehren, vor allem die Reizmethoden und die Graphik, am leichtesten erlernt werden können.

Die Figuren sind fast alle schematische Zeichnungen. Es darf vorausgesetzt werden, dass der Leser bei dem Gebrauche des Buches die beschriebenen Apparate etc. in natura vor sich hat, also nicht aus dem Buche eine ausführliche Beschreibung, sondern vielmehr eine Anleitung zum Gebrauche derselben entnehmen will.

Eine solche Anleitung lässt sich aber meist an der Hand schematischer Figuren besser geben, als durch schöne Bilder.

Zu besonderem Danke bin ich Herrn Professor Fick verpflichtet dafür, dass er mir bei Abfassung des Buches mit seinem Rathe zur Seite stand. Auch Herrn Dr. Gürber habe ich zu danken für mancherlei Winke.

Würzburg, im Januar 1895.

Dr. F. Schenck.

Inhaltsverzeichniss.

Seite

Vorwort V
Inhaltsverzeichniss IX
Ausrüstung des Practicanten XIII
Berichtigungen XIV

I. Abschnitt.

Allgemeine Nerven- und Muskelphysiologie.

I. Kapitel. Anfertigung der Nerv- und Muskelpräparate . . . 1
1. Anatomie des Froschschenkels 1
2. Herstellung der physiologischen Präparate 5
1. Stromprüfender Froschschenkel 5
2. Nervmuskelpräparat 7
3. Gastrocnemius 7
4. Sartorius 7
5. Doppelsemimembranosus und -gracilis 8

II. Kapitel. Reizversuche an Nerv und Muskel mit verschiedenartigen Reizen 9
1. Reizung des Nerven 10
2. Reizung des Muskels 13
3. Directe Erregbarkeit des Muskels. Curare 14

III. Kapitel. Erregung von Nerv und Muskel mit dem constanten Strom 17
1. Physikalische Vorbemerkungen 17
2. Abhängigkeit der Erregung des Nerven von der Stärke und Richtung des Stromes. Zuckungsgesetz 33
3. v. Fleischl's Rheonom. Einschleichen des Stromes in den Nerven. Zeitreize 36
4. Directe Reizung des Muskels mit dem constanten Strom. Momentan- und Zeitreize 39

IV. Kapitel. Erregung von Nerv und Muskel mit Inductionsströmen 40
1. Induction. Schlitteninductorium von Du Bois-Reymond . 40
2. Reizversuche mit einzelnen Inductionsströmen. Unterschied des Schliessungs- und Oeffnungs-Inductionsstroms . . . 41
3. Wagner'scher Hammer und Helmholtz'sche Vorrichtung. Unipolare Reizung 45

V. Kapitel. Reizung von Nerv und Muskel mit Condensatorentladung 51

Seite

VI. Kapitel. Volumen des Muskels bei der Thätigkeit 53

VII. Kapitel. Myographische Methodik 56
1. Schreibhebel 56
2. Schreibflächen 65
3. Zeitschreibung 73

VIII. Kapitel. Graphische Registrirung der Zuckung 79
1. Registrirung der Hubhöhe allein 79
2. Registrirung des Verlaufs der Zuckung 81
a) Isotonische Zuckung 81
b) Isometrische Zuckung 84
c) Schleuderzuckungen 86
d) Einfluss der Temperatur auf den Ablauf der Zuckung 91
e) Einfluss der Spannung auf den Ablauf des Contractionsprocesses. Anschlagzuckungen 92
f) Wirkung des Veratrins 94
g) Ermüdung und Erholung 95
Anhang. Directe Reizung des Muskels mit dem constanten Strom. Graphische Registrirung 97

IX. Kapitel. Superposition der Zuckungen. Tetanus 97

X. Kapitel. Dehnungscurve des ruhenden und thätigen Muskels 100

XI. Kapitel. Arbeitssammler von Fick 104

XII. Kapitel. Myographische Versuche am Menschen nach Fick . 107

XIII. Kapitel. Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Nervenleitung . 109

XIV. Kapitel. Contractionswelle 112

XV. Kapitel. Elektrotonus 115
1. Die Aenderung der Erregbarkeit im Elektrotonus, nachgewiesen mit elektrischer Reizung 115
2. Elektrotonus mit chemischer Reizung 119
3. Beweis, dass die Erregung bei Schliessung an der Kathode, bei Oeffnung an der Anode entsteht 120
4. Ort der Wirkung der Inductionsströme 121
Anhang. Zuckungsgesetz der motorischen Nerven des Menschen 123

XVI. Kapitel. Elektromotorische Eigenschaften thierischer Gewebe 124
1. Methoden zum Nachweis schwacher Ströme 124
2. Allgemeine Regeln für die Untersuchung der thierischen Elektricität 129
3. Ströme des ruhenden Muskels und Nerven 129
4. Ströme des thätigen Muskels und Nerven 138

XVII. Kapitel. Bestimmung des Leitungswiderstandes von Nerv und Muskel 143

XVIII. Kapitel. Doppelsinnige Leitung des Nerven 146

XIX. Kapitel. Ueber die Beziehung von Leitungsfähigkeit zur Erregbarkeit des Nerven 147

XX. Kapitel. Wärmebildung des thätigen Muskels 149

XXI. Kapitel. Flimmerbewegung 150

II. Abschnitt.

Physiologie des Nervensystems und der Sinne.

XXII. Kapitel. Exstirpation des Vorderhirns beim Frosche . . . 153

XXIII. Kapitel. Zerstörung des ganzen Gehirns. Rückenmarksfunctionen 156

Seite

XXIV. Kapitel. Function der vorderen und hinteren Wurzeln . . 161

XXV. Kapitel. Bestimmung der Reactionszeit 162
1. Bestimmung der Reactionszeit mittels der graphischen Methode 162
2. Bestimmung der Reactionszeit mittels Uhrwerks zur Messung kleiner Zeiträume 168

XXVI. Kapitel. Messung des intraocularen Drucks. Ophthalmotonometer 174

XXVII. Kapitel. Bild auf der Netzhaut des ruhenden Auges . . . 178

XXVIII. Kapitel. Ophthalmometer von Helmholtz 179

XXIX. Kapitel. Sanson-Purkinje'sche Bilder und deren Veränderung bei der Accommodation 188

XXX. Kapitel. Betimmung der Accommodationsbreite und -kraft. Optometer 190
1. Optometer von Scheiner 192
2. Optometer von v. Graefe 195

XXXI. Kapitel. Augenleuchten 198

XXXII. Kapitel. Pupillenreflex 199

XXXIII. Kapitel. Sehroth 199

XXXIV. Kapitel. Perimeter 202

XXXV. Kapitel. Gefässschattenfigur 204

III. Abschnitt.

Physiologie des Kreislaufs.

XXXVI. Kapitel. Beobachtung der Circulation in den Gefässen mit dem Mikroskop 205

XXXVII. Kapitel. Froschherz 209
Anatomie 209
Beobachtungen am Froschherz 210
Methoden der graphischen Registrirung der Herzthätigkeit 215

XXXVIII. Kapitel. Erzeugung eines Kreislaufs durch das ausgeschnittene Froschherz 220

XXXIX. Kapitel. Function der Klappen, beobachtet am ausgeschnittenen Ochsenherzen 225

XL. Kapitel. Beobachtung der Herzcontraction beim Kaninchen . 227

XLI. Kapitel. Spitzenstoss beim Menschen 231

XLII. Kapitel. Herztöne und Registrirung derselben 235

XLIII. Kapitel. Aufschreiben der Druckpulse. Sphygmographie . 239

XLIV. Kapitel. Aufschreiben von Volumpulsen. Plethysmographie . 245

XLV. Kapitel. Aufzeichnung von Strompulsen. Tachographie . . 246

XLVI. Kapitel. Messung der Stromgeschwindigkeit in der Carotis des Kaninchens 253

XLVII. Kapitel. Blutdruck 262
Apparate zur Messung des Blutdrucks 262
Blutdruckversuch am Kaninchen 268
Anhang. Blutdruckversuch am Hund 273

Berichtigungen.

Seite	5	Zeile	9	von unten	statt	7,5 lies 5—7,5.
„	18	„	1	„	„	Wellenbewegung lies Energie.
„	53	„	17	„	„	45 lies 41.
„	71	„	8	„ oben	„	Stanzen lies Stangen.
„	100	„	14	„	„	Schreibspitze lies Metallspitze.
„	128	„	1	„ unten	„	CXLX lies CXLIX.

I. Abschnitt.

Allgemeine Nerven- und Muskelphysiologie.

I. Kapitel.

Anfertigung der Nerv- und Muskelpräparate.

Die meisten Versuche zur allgemeinen Nerven- und Muskelphysiologie werden angestellt an Präparaten von einem Kaltblüter, dem Frosch, weil diese nach dem Tode des Thieres noch lange functionsfähig bleiben.

1. Anatomie des Froschschenkels.

Hier werden nur die für uns in Betracht kommenden Theile kurz beschrieben. Ausführliche Darstellung siehe: A. Ecker, Die Anatomie des Frosches. Braunschweig, Vieweg & Sohn.

Die beiden in Deutschland vorkommenden Arten, die grössere Rana esculenta (Wasserfrosch), die kleinere Rana temporaria (Landfrosch) werden zu den Versuchen verwendet.

Aufbewahren der Frösche. Die Frösche werden am besten aufbewahrt in einem besonderen im Freien, im Hofe des Instituts gelegenen mit Gras und Moos versehenen Froschteiche mit fliessendem Wasser. Wo das nicht möglich ist, hält man sie entweder in einem mit Waldmoos gefüllten hölzernen Kasten, dessen Wände durchlöchert sind und durch den häufig ein Strom fliessenden Wassers geleitet wird, oder in irdenen, mit Drahtgitter überspannten Gefässen, die etwa $1^1/_2$ Finger hoch mit Wasser gefüllt sind; in letzterem

Falle muss das Wasser öfters erneuert werden, im Sommer sogar mehrmals an einem Tage. Man bewahrt die Frösche an einem möglichst kühlen Orte auf, bringe sie jedoch einige Tage vor Beginn der Versuche allmählich in immer wärmere Räume, so dass sie langsam die Temperatur des Arbeitszimmers annehmen. Verwendet man Präparate von Fröschen gleich, nachdem sie aus dem kalten in den wärmeren Raum gebracht worden sind, so erleiden die Versuche oft Störungen durch spontan eintretende Zuckungen der Muskeln, die sogar in Dauercontraction übergehen können. (Siehe darüber: Pflüger, Physiologie des Elektrotonus. Berlin 1859. S. 133 ff.)

Von besonderem Einfluss auf die Brauchbarkeit von Froschmuskeln und -Nerven zu den Versuchen ist die Jahreszeit. Am besten eignen sich die Thiere zu den Versuchen im Anfange des Winters (November, December, Januar). Gegen Ende des Winters und zu Anfang des Frühlings, d. i. während der Laichzeit, sind die Thiere weniger brauchbar.

Tödten des Frosches und Enthäuten der Schenkel. Man fasst mit der linken Hand den Frosch so, dass Daumen und Mittelfinger den Bauch umschnüren, die beiden letzten Finger die hinteren Extremitäten fest halten und hält das Thier so über einem flachen Teller; die rechte sticht das spitze Blatt einer starken Scheere (Knochenscheere) unter der Wirbelsäule etwa in der Mitte derselben ein und durchschneidet sie. Indem man mit dem linken Zeigefinger den abgeschnittenen vorderen Theil und die Baucheingeweide nach unten drückt, schneidet man mit der Scheere alle diese Theile von dem hinteren Stück ab. Der herabhängende vordere Theil zieht dabei die Baucheingeweide aus der Bauchhöhle so nach unten, dass man sie leicht ganz entfernen kann. Man sticht eine Stricknadel in den Wirbelcanal des abgeschnittenen vorderen Theiles ein, um das Centralnervensystem zu zerstören und damit den Frosch vollends zu tödten, in den des hinteren Theils nur dann, wenn der Schenkel noch Reflexbewegungen ausführt, die bei der weiteren Präparation stören. Die an dem After festgewachsene Haut wird mit einem Scheerenschnitt abgetrennt. Nun fasst man den Stumpf der Wirbelsäule mit Daumen und Zeigefinger der linken Hand, die locker darüber liegende Rückenhaut mit der rechten, reisst beide aus einander, dann zieht sich die Haut von dem ganzen Schenkel leicht ab.

Knochen. Der Körper des hintersten der neun Wirbel des Frosches ist gelenkig verbunden mit dem Steissbein, einem stabförmigen Knochen, der beinahe so lang ist wie die ganze Wirbelsäule. Die Querfortsätze desselben Wirbels sind durch Synchondrose verknüpft mit den säbelförmigen Darmbeinschaufeln; diese sind an ihrem hinteren Ende mit einander verbunden durch die mit ihren medialen Flächen verwachsenen Scham- und Sitzbeine (Symphyse). Letztere bilden so eine verticale Scheibe, die nach vorne sich V-förmig in die Darmbeinschaufeln theilt, und die an ihren lateralen Flächen die Pfannen trägt.

Der Oberschenkel ist ein einfacher langer Röhrenknochen (ohne Hals und Trochanteren), der Unterschenkel hat nur einen Röhrenknochen, dessen unteres Ende gelenkig verbunden ist mit einem Kalkknorpel, an den sich Talus und Calcaneus ansetzen.

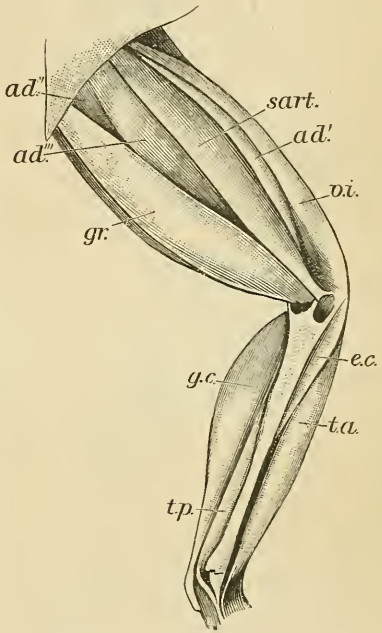


Fig. 1 (nach Ecker).
ad' adductor longus. ad'' adductor brevis. ad''' adductor magnus. gr. gracilis. sart. sartorius. v. i. vastus internus. g. c. gastrocnemius. t. p. tibialis posticus. e. c. extensor cruris. t. a. tibialis anticus.

Muskeln. Die Muskeln entsprechen im Allgemeinen denen des Menschen und tragen auch die gleichen Namen. Für uns kommen in Betracht:

1. **Sartorius** (sart. Fig. 1). Auf der Mitte der Bauchseite des Oberschenkels, lang, platt. Ursprung: Unteres vorderes Ende der Symphyse. Ansatz: Fascie des Unterschenkels und Kniegelenkkapsel. Seine beiden Ränder sind an dem enthäuteten Schenkel bei passender Belichtung leicht zu erkennen, sie können noch deutlicher gemacht werden durch Auftupfen von etwas Blut, das in den von den Rändern gebildeten Rinnen zusammenläuft.

2. **Semimembranosus** (sem. Fig. 2). Auf der Rückseite des Oberschenkels, innen. Breiter Muskel. Ursprung: Hintere obere Ecke der Symphyse. Ansatz: Zwischengelenkbänder des Kniegelenks und

durch diese am Os cruris; die Sehne wird umfasst von dem concaven Rand, den die Ursprungssehnen des Gastrocnemius (siehe diesen) bilden.

3. **Biceps** (bi. Fig. 2). Auf der Rückenseite, grenzt an den lateralen Rand des Semimembranosus, leicht zu erkennen an der glänzenden Sehne mitten im unteren Theil des Oberschenkels.

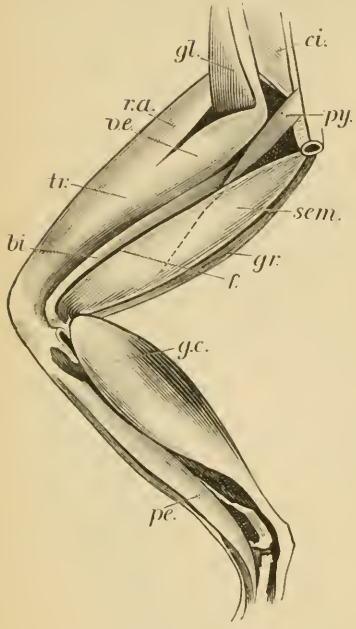


Fig. 2 (nach Ecker).

gl. glutaeus. r. a. rectus anticus. v. c. vastus externus. tr. triceps femoris. bi. biceps femoris. pe. peroneus ci. coccygeoiliacus. py. pyriformis. sem. semimembranosus. gr. gracilis. g.c. gastrocnemius. f. Furche in der der Nervus ischiadicus zu finden ist.

4. **Gracilis** (Rectus internus major und minor Ecker, gr. Fig. 1 und 2). Auf der Bauchseite, innen. Ursprung: Symphyse. Ende: Os cruris. Eine Partie des Muskels bildet den Rectus internus minor, einen schmalen Muskel, der mit der Haut verwachsen ist und beim Enthäuten meist durchreisst. Gracilis und Semimembranosus berühren sich an der Innenseite des Oberschenkels.

5. **Gastrocnemius** (g. c. Fig. 1 und 2). An der Innenseite des Unterschenkels. Ursprung: Mit zwei sehnigen Köpfen an der Kniegelenkskapsel und dadurch am Oberschenkel. Ende: Achillessehne.

Die übrigen für unsere Zwecke unwichtigen Muskeln sind aus den Fig. 1 und 2 zu entnehmen.

Nervus ischiadicus. In der Mitte des Oberschenkels liegt der Ischiadicus zwischen Semimembranosus und Biceps. Man findet ihn, wenn man in die Furche zwischen beiden Muskeln nach Durchschneiden der sie bedeckenden Fascie eingeht (in Fig. 2 deutet der Strich f die Lage des Nerven an).

Peripherwärts theilt sich der Nerv in zwei Aeste: 1. Tibialis, geht über das Kniegelenk medianwärts, wird vom Gastrocnemius bedeckt, innervirt diesen Muskel; 2. Peroneus, geht zwischen der lateralen Ursprungssehne des Gastrocnemius und der Sehne des Biceps durch, dann unter der letzteren weg.

Centralwärts geht der Ischiadicus an der Aussenseite des

Musculus pyriformis (py. Fig. 2) entlang und dann unter den Coccygeoiliacus (c. i. Fig. 2), der sich zwischen Steissbein und Darmbeinschaufeln ausspannt. Der Nerv liegt der Bauchseite dieses Muskels an und ist von vorne her sichtbar nach Entfernung aller Eingeweide aus der Bauchhöhle (auch der Nieren, die in Form zweier rother länglicher Lappen zu beiden Seiten der Wirbelsäule dem Plexus ischiadicus aufliegen). Man sieht, dass der Ischiadicus entsteht aus dem 7., 8. und 9. Spinalnerv. Auf dem Wege vom Plexus sacralis bis zum Oberschenkel giebt der Nerv Haut- und Muskeläste für Becken und Oberschenkel ab.

Man mache sich durch anatomische Präparation mit den beschriebenen Theilen bekannt, ehe man die physiologischen Präparate herstellt.

2. Herstellung der physiologischen Präparate.

Allgemeine Regeln. 1. Der leitende Grundsatz bei der Herstellung der Präparate zu physiologischen Zwecken ist: die Präparate so anzufertigen, dass sie functionsfähig bleiben.

2. Man vermeide deshalb jegliche Quetschung oder Zerrung der Organe und suche sie so wenig wie möglich mit Instrumenten zu berühren, besonders nicht mit scharfen.

3. Man präparire möglichst ohne Zeitverlust, vermeide also Manipulationen, die für den vorliegenden Zweck unnöthig sind. Man erreicht das, wenn man sich gewöhnt, die einzelnen Manipulationen bei Herstellung eines bestimmten Präparats immer in derselben Reihenfolge vorzunehmen, etwa in der Art, wie es gleich beschrieben werden soll.

4. Die Präparate trocknen an der Luft aus, das schädigt sie. Man muss sie deshalb immer feucht halten, das geschieht durch Aufpinseln von Flüssigkeit. Reines Wasser darf man dazu aber nicht benutzen, weil es die Gewebe schädigt, sondern die sogenannte physiologische Kochsalzlösung, die 7,5 g Kochsalz in 1 l Wasser enthält.

Anfertigung der einzelnen Präparate.

An den zur Uebung angefertigten Präparaten stellt man zweckmässig die im II. Kapitel beschriebenen Reizversuche an. Man übt so Controle, dass die Herstellung in gewünschter Weise gelungen ist.

1. Stromprüfender Froschschenkel.

a) Resection des Steissbeins. Die enthäuteten Schenkel werden auf die Bauchseite gelegt, das hintere Ende des Steissbeins mit Pincette

in die Höhe gezogen, man geht mit der Scheere unter das Steissbein ein und schneidet die an ihm beiderseits sitzenden Muskeln bis oben hin ab, dann schneidet man den Knochen selbst an seinem oberen Ende oder in der Gelenkverbindung mit dem 9. Wirbel ab. Dadurch wird der Nerv für die Präparation von der Rückseite her zugängig.

b) **Freilegen des Nerven am Oberschenkel.** Man findet den Nerv, wenn man auf der Rückseite des Oberschenkels zwischen dem Biceps und Semimembranosus (f. Fig. 2) eingeht. Man legt den Oberschenkel auf den Mittelfinger der linken Hand und spannt die beiden Muskeln mit Daumen und Zeigefinger aus einander. Oft reisst dann das die Spalte bedeckende Bindegewebe schon ein und man sieht den Nerven in der Tiefe der Furche. Wenn das nicht der Fall ist, wird die Fascie mit Scalpell oder spitzer Scheere eingeschnitten, vorsichtig, damit der Nerv nicht verletzt wird. Dann werden alle Bindegewebsstränge, die den Nerven mit dem umliegenden Gewebe zusammenhalten, sowie die zur Oberschenkelmuskulatur abgehenden Aeste abgetrennt, so dass der Nerv ganz frei liegt. Falls es nöthig sein sollte, den Nerven beim Freilegen aufzuheben, thut man dies zweckmässig mit einem kleinen Glashäkchen oder Holzstäbchen.

Nun verfolgt man den Nerven nach hinten. Zu beachten ist, dass der median liegende Ast, Tibialis, der den Gastrocnemius innervirt, nicht verletzt werden darf, während man den lateralen Ast. den Peroneus, nicht zu schonen braucht. Man hält sich deshalb, wenn man die mit der Sehne des Biceps verwachsene Fascie, die hier den Nerven bedeckt, durchschneiden will, an der Aussenseite des Nerven. Der Tibialis wird freigelegt bis zu der Stelle, wo er unter den Gastrocnemius tritt.

c) **Abtrennen des Unterschenkels.** Man schneidet sämmtliche um den unteren Theil des Oberschenkels gelagerte Muskeln kurz über dem Knie durch und löst sie von dem Oberschenkelknochen eine Strecke weit nach oben ab. Dann wird dieser Knochen etwa 1 cm oberhalb des Knies mit der Knochenscheere durchschnitten.

d) **Freilegen des Nerven bis an die Wirbelsäule.** Man hebt den abgeschnittenen Unterschenkel auf und zieht den Nerven leicht an. Dann schneidet man mit der Scheere dicht unter dem Nerven und an ihm entlang alles mit ihm zusammenhängende Gewebe ab, bis zur Wirbelsäule. Das Stück Wirbelsäule wird in Zusammen-

hang mit dem Nerven gelassen und von den übrigen Theilen abgetrennt. Man lässt den Nerven in Zusammenhang mit einem Stück Rückenmark, weil er dann länger functionsfähig bleibt.

Es ist anzunehmen, dass die Präparation gelungen ist, wenn der Gastrocnemius während der Freilegung des Nerven niemals gezuckt hat. Beim Durchschneiden der vom Ischiadicus abgehenden Muskeläste zucken die zugehörigen Muskeln.

2. Nervmuskelpräparat.

Es wird ein stromprüfender Froschschenkel hergestellt und damit Folgendes vorgenommen. In die Achillessehne wird in der Längsrichtung ein Loch mit Scalpell geschnitten (für ein Häkchen, das den Muskel mit den später zu beschreibenden Apparaten verbinden soll), dann wird unterhalb des Lochs die Achillessehne durchgeschnitten, der Gastrocnemius vom Unterschenkel losgelöst, im oberen Theile vorsichtig, damit hier der unter dem Muskel liegende Nerv nicht verletzt wird. Nun schneide man den Unterschenkel im Kniegelenk ab und lege den Nerv, soweit dies noch nöthig ist, bis zum Eintritt in den Muskel ganz frei.

Ausser den beiden beschriebenen Präparaten, in denen der Muskel mit dem Stamm des Nerven in Verbindung bleibt, werden zuweilen, besonders bei Untersuchungen über thierische Elektricität, andere Nervmuskelpräparate gebraucht, nämlich das vom Sartorius und Gracilis. Dieselben sind hier nicht beschrieben, weil sie in unseren Versuchen nicht benutzt werden. Näheres über den Sartorius siehe bei Kühne, Archiv von Reichert und Du Bois-Reymond 1859, S. 317—319 und Myologische Untersuchungen, Leipzig 1860, S. 45, über den Gracilis bei Du Bois-Reymond, Gesammelte Abhandlungen zur allgemeinen Muskel- und Nervenphysik, Bd. II, 2. Abth., S. 405.

Bemerkt sei hier nur, dass bei Präparation der Oberschenkelmuskeln zu Untersuchungen über thierische Elektricität der Schenkel nicht in der angegebenen Weise enthäutet werden darf, sondern dass die Haut vorsichtig abpräparirt werden muss.

Die jetzt zu beschreibenden Präparate sind solche von Muskeln allein, ohne die zugehörigen Nerven.

3. Gastrocnemius.

Die Herstellung ergiebt sich aus dem unter Nr. 1 und 2 Gesagten, nur fallen hier alle Manipulationen weg, die den Zweck haben, den Nerven zu erhalten.

4. Sartorius.

a) Man fasst mit einer Pincette das untere Ende des Sartorius am Kniegelenk, schneidet unterhalb der Pincette mit der Scheere

die Sehne durch und durchschneidet mit der Scheere weiter alle bindegewebigen Verbindungen des Muskels mit dem Schenkel bis oben, indem man ihn leicht emporhebt. Dann schneidet man ihn an seinem Ursprung durch.

b) In derselben Weise präparirt man den Muskel auch frei, wenn man die knöchernen Ansatzpunkte am Muskel lassen will. Man trennt dann Unterschenkel vom Oberschenkel im Knie so, dass der Sartorius am Unterschenkel hängen bleibt, fasst den Unterschenkel und zieht den Sartorius daran leicht empor, um ihn in der beschriebenen Weise frei zu legen. Man lässt den Muskel auch mit dem Becken in Verbindung und schneidet von den Knochen an den Enden alles das ab, was für den physiologischen Versuch überflüssig ist. Die Knochen lässt man dann an den Enden, wenn man den Muskel bequem an Apparaten befestigen will.

5. Doppelsemimembranosus und -gracilis (nach Fick).

Man entferne zunächst von der Innenseite beider Oberschenkel die Fetzen des Rectus internus minor, die beim Abreissen der Haut hängen geblieben sind. Dann schneidet man die Fascien an den Aussenrändern des Semimembranosus und Gracilis bis zu dem Ansatz der Muskeln am Knie ein, trennt dann Unterschenkel vom Oberschenkel im Knie so, dass die beiden Muskeln mit dem Unterschenkelknochen in Verbindung bleiben. Zuweilen ist es zweckmässig, das Kniegelenk zu erhalten, nämlich dann, wenn man durch das mit dem Muskelende in Verbindung bleibende Stück einen Haken zur Befestigung an einem Apparate durchzustossen hat. Der Haken stösst sich leichter durch das Kniegelenk, als durch ein Stück Knochen. Man schneidet dann den Oberschenkelknochen dicht über dem Gelenk ab und trennt alle Muskeln, die hier ansetzen, ab, bis auf die beiden zu präparirenden. Nun löst man die beiden Muskeln vom übrigen Oberschenkel bis zur Symphyse hin ab. Die beiden Muskeln bleiben in Verbindung mit der Symphyse, dagegen schneidet man alle anderen Muskeln, die hier inseriren, ab und exarticulirt auch den Oberschenkelknochen im Hüftgelenk. Bei dieser Art der Präparation bleibt meist noch der Semitendinosus, der zwischen beiden Muskeln an der dem Knochen zugekehrten Seite liegt, an dem Präparat hängen; man entfernt ihn, indem man seine Insertionen am Unterschenkelknochen und dem Becken, wo er mit zwei Köpfen inserirt, durchschneidet und den Muskel von den beiden anderen loslöst.

Diese Präparation hat an beiden Schenkeln zu erfolgen.

Dann wird durch beide Pfannen mit einer Reibahle in der Richtung von einer Seite zur anderen ein Loch gestossen (zur Aufnahme eines Hakens), die Darmbeinschaufeln werden abgeschnitten. Auch die Unterschenkelknochen schneidet man so ab, dass nur ein Knochenstück mit den unteren Insertionspunkten der Muskeln in Verbindung bleibt.

Dieses Präparat wird entweder so verwendet, dass man die Muskeln von beiden Seiten neben einander gelagert lässt — man hat dann einen kurzen aber dicken Muskel, in Folgendem: „kurze Anordnung“ genannt — oder indem man die Muskeln aus einander spannt — man hat dann einen dünnen aber langen Muskel: „lange Anordnung“; in letzterem Falle, wo das Becken nicht zur Befestigung des Muskels am Apparate verwendet wird, kann man vom Becken noch so viel abschneiden, dass nur ein kleines zur Verbindung der Muskeln von beiden Seiten genügendes Stück übrig bleibt. Auch kann man entweder das eine oder das andere Muskelpaar allein verwenden. Man schneidet dann von dem Präparate, je nach Wunsch, entweder beide Graciles oder beide Semimembranosi ab.

Die unter Nr. 3, 4a und 5 beschriebenen Präparate lassen sich von einem einzigen Frosche herstellen. Man versuche dies zur Uebung. Man hat dann die Trennung des Unterschenkels vom Oberschenkel im Knie so vorzunehmen, dass der Gastrocnemius mit dem Os femoris, der Semimembranosus und Gracilis mit dem Os cruris in Verbindung bleibt. Die Reihenfolge, in der man die Präparate macht, ist folgende: 1. Sartorius auf beiden Seiten; 2. Gastrocnemius auf beiden Seiten; 3. Doppelsemimembranosus und -gracilis.

II. Kapitel.

Reizversuche an Nerv und Muskel mit verschiedenartigen Reizen.

Zu den Versuchen sind ausser dem früher Angegebenen erforderlich: Glasplatte; Spiritus- oder Gasflamme (Bunsenbrenner); Gefäss zum Kochen von Wasser; concentrirte Kochsalzlösung; Ammoniak; ein Stück Zink- und Kupferblech; Stativ mit Korkzange oder Klemmschraube oder ein Muskeltelegraph; Strohhalm.

1. Reizung des Nerven.

Präparat. Stromprüfender Froschschenkel, der auf einer mit physiologischer Kochsalzlösung benetzten und auf den Rand des Tisches gestellten Glasplatte so ausgebreitet wird, dass der Nerv über den Rand der Platte frei herabhängt. Oder man schraubt das Femurstück in eine horizontal an einem Stativ befestigte Klemmschraube oder Korkzange, so dass der Gastrocnemius möglichst horizontal steht, der Nerv senkrecht und frei herabhängt (s. Fig. 3). Die Bewegung des Fusses durch den zuckenden Muskel kann noch leichter sichtbar gemacht werden, wenn man an eine Zehe mit zwei Stecknadeln einen langen Strohhalm befestigt, der an seinem Ende ein Papierfähnchen trägt.

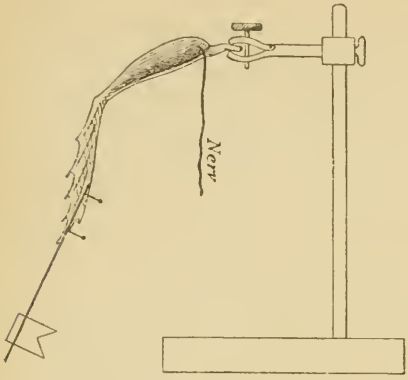


Fig. 3 (nach Stirling).

Falls man einen Du Bois-Reymond'schen Muskeltelegraphen zur Verfügung hat, benutzt man ein Nervmuskelpräparat. Das Femurstück ist beim Muskeltelegraphen (s. Fig. 4) auch in einer

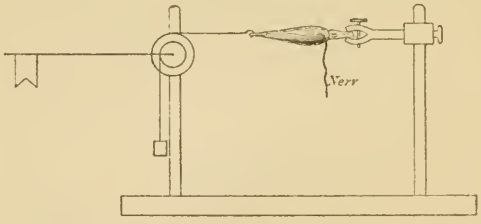


Fig. 4.
Schema des Muskeltelegraphen von Du Bois-Reymond.

Zange befestigt. Ein Häkchen in dem Loch der Achillessehne hängt an einem Faden, der über eine Rolle läuft. Die Axe der Rolle trägt einen Strohhalm mit Fahne. Die Bewegung des Muskels kommt vergrössert in der Bewegung der Fahne zum Ausdruck. An einer zweiten Rolle an derselben Axe zieht ein den Muskel spannendes Gewicht.

Es darf nicht vergessen werden, Nerv und Muskel während der Versuche mit physiologischer Kochsalzlösung feucht zu halten.

Mechanische Reizung. Der Nerv wird mit einer Pincette gequetscht oder mit einer Nadel gestochen oder mit der Scheere durchschnitten: der Muskel zuckt. Beim Quetschen erhält man nur sicher dann eine Contraction, wenn man schnell drückt. Bei langsamer Drucksteigerung ist der Erfolg unsicher. Hat man den Nerven an einer Stelle durch Quetschen gereizt und reizt nun ein zweites Mal centralwärts von der ersten Stelle, so zuckt der Muskel nicht. Die Reizleitung im Nerven ist also an unversehrte Continuität desselben gebunden und die Leitungsfähigkeit wird durch mechanische Insulte vernichtet.

Die mechanische Reizung ist experimentell zuweilen angewendet worden, weil bei ihr die Fehlerquellen der elektrischen Reizung, wie Stromschleifen und unipolare Wirkungen (siehe Kapitel IV) ausgeschlossen sind. Man hat besondere Apparate zur mechanischen Reizung construirt, unter denen der **mechanische Tetanomotor** von Heidenhain (Physiologische Studien, Berlin 1856 und Moleschott's Untersuchungen IV, S. 124, 1858) der bekannteste sein dürfte. Der Nerv wird hier durch ein auf ihn aufschlagendes Hämmerchen gereizt.

Die bisher geübte Methode der mechanischen Reizung hatte das Missliche, dass die gereizte Stelle durch den Reiz zu sehr geschädigt wurde. In neuester Zeit ist diese Methode von J. v. Uexküll vervollkommnet worden (Zeitschrift für Biologie, Bd. XXXI). Derselbe stellt folgende Grundsätze für die mechanische Reizung ohne Schädigung der Nerven auf:

1. Sind Hammer und das Widerlager, auf dem der Nerv aufliegt, zu starr, so wird der Nerv geschädigt, sind sie zu nachgiebig, so tritt keine Erregung ein. Man muss daher das Widerlager um so nachgiebiger machen, je starrer der Hammer ist, und umgekehrt den Hammer um so nachgiebiger, je starrer das Lager. So legt man den Nerven am besten auf eine Flüssigkeit oder hängt ihn frei auf, wenn übermässige Schläge mit harten Gegenständen ertheilt werden sollen, und legt ihn anderseits auf eine feste Glasplatte, wenn z. B. Luftstösse ihn erregen sollen.
2. Der Stoss muss möglichst kurz sein, so dass Erschütterung des Nerven erfolgt. Druck, Dehnung, regelmässige Schwingungen reizen den Nerven nicht, wenn sie nicht von Erschütterung begleitet sind.
3. Endlich ist möglichste Localisirung des Reizes wünschenswerth.

v. Uexküll giebt mehrere Apparate an, mit denen der Nerv erfolgreich ohne Schädigung mechanisch gereizt werden kann. Siehe darüber die Originalabhandlung.

Von den Versuchen, die v. Uexküll beschreibt, ist besonders bemerkenswerth die mechanische Reizung des Nerven durch Entlastung, die am einfachsten so beobachtet wird: Man legt den gut befeuchteten Nerven auf eine feste Glasplatte auf und drückt ihn mit einem hakenförmig gekrümmten 1 mm dicken Glasstabe langsam zusammen. Wenn man ganz gleichmässig den Druck zunehmen lässt, wird der Nerv nicht erregt. Nun hebt man den Stab plötzlich mit der Hand auf: der Muskel zuckt.

Thermische Reizung. Man berührt den Nerven mit einer über einer Flamme heiss gemachten Stricknadel oder taucht sein Ende

in heisses Wasser: der Muskel zuckt zuweilen, sehr oft bleibt die Erregung aber auch aus. Die betroffene Stelle des Nerven stirbt ab.

Methodisches und Theoretisches über thermische Reizung findet sich bei Grützner, Pflüger's Archiv f. d. ges. Physiol., Bd. XVII.

Chemische Reizung. Man giesst etwas concentrirte Kochsalzlösung in ein Uhrglas und hält dies so, dass das Ende des Nerven hineintaucht. Nach einiger Zeit beginnt der Muskel einzelne Zuckungen zu vollführen, die bald stärker werden und in Dauercontraction übergehen. Schneidet man das in die Flüssigkeit eingetauchte Nervenstück ab, so hört die Contraction auf. Es giebt noch andere Substanzen, die ebenfalls reizend wirken, z. B. Alkohol, Kreosot, Glycerin, Salzlösungen. Die betroffene Stelle des Nerven stirbt ab.

Man mache noch einen Versuch mit Ammoniaklösung. Das Uhrglas darf aber hier nicht unter den Muskel gehalten werden, weil Ammoniakdämpfe aufsteigen und direct auf den Muskel wirken können. Man hält das Glas über den Muskel und hebt den Nerven empor, so dass sein Ende in das Ammoniak taucht. Es erfolgt keine Contraction, aber die von Ammoniak benetzte Stelle wird unerregbar gegen andere Reize.

Ueber die Beziehung des Reizeffects zu der Natur der reizenden Substanzen siehe P. Grützner, Pflüger's Archiv für d. ges. Physiologie. Bd. LIII, S. 83 und Bd. LVIII, S. 69.

Elektrische Reizung. Ein Stück Zink- und Kupferblech werden zusammengelegt und gegen einander gedrückt, dann der Nerv so darauf gelegt, dass er beide Metalle berührt, etwa wie Fig. 5 es zeigt. Jedesmal wenn der Nerv auf die beiden Metalle auffällt und wenn er von ihnen abgehoben wird, zuckt der Muskel. Die Reizung erfolgt durch den elektrischen Strom, der entsteht, wenn die beiden Metalle mit dem feuchten Leiter in Berührung kommen. Damit der Versuch gelingt, müssen die beiden Bleche an den Stellen, wo sie sich berühren, und wo der Nerv aufgelegt wird, blank gerieben sein.

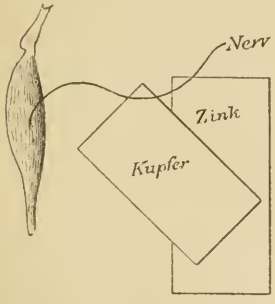


Fig. 5.

Dieser Versuch ist von historischem Interesse. Luigi Galvani, Professor der Physik in Bologna, beobachtete 1789 an einem frisch präparirten Froschschenkel, der mit einem an der Wirbelsäule befestigten kupfernen Haken an

einem eisernen Geländer aufgehängt war, Zuckungen, so oft der Schenkel mit dem Geländer in Berührung kam. Auch hier beruht, wie in unserem Versuche, die Erregung auf dem elektrischen Strom, der durch die Berührung der beiden Metalle mit dem feuchten Leiter zu Stande kommt. Diese Beobachtung führte zur Entdeckung der Berührungselektricität; die richtige Erklärung gab Alessandro Volta, Professor in Pavia [1]).

Als elektrische Pincette bezeichnet man zwei in Pincettenform mit einem Ende an einander gelötheten Zink- und Kupferblechstreifen. Dieses einfachen Instruments bedient man sich bei physiologischen Versuchen, um schnell die Reizbarkeit von Präparaten festzustellen. Man legt den Nerv oder Muskel den freien Enden der Pincettenbranchen an. Erfolgt eine Zuckung, so ist das Präparat reizbar.

Reizung durch Austrocknen. Lässt man den Nerven einige Zeit ruhig hängen, so geräth der Muskel ähnlich wie bei Reizung mit chemischen Agentien in Contraction. Diese kommt dadurch zu Stande, dass der Nerv durch Verdunsten von Wasser erregt wird. Befeuchtet man darauf den Nerven mit physiologischer Kochsalzlösung, so hören die Contractionen wieder auf. Die Wirkung einiger der vorhin erwähnten chemischen Agentien, z. B. der concentrirten Kochsalzlösung, des Glycerins soll auch auf Wasserentziehung beruhen.

2. Reizversuche am Muskel.

Präparat. Sartorius, den man entweder auf eine mit physiologischer Kochsalzlösung benetzte Glasplatte legt, oder an dem Muskeltelegraphen anbringt.

Mechanische Reizung. Bei Quetschen und Schneiden zuckt der Muskel.

Thermische Reizung. Begiessen des Muskels mit warmem Wasser (über 40° C.) bewirkt Dauercontraction, zugleich aber auch Sinken der Erregbarkeit und Tod des Muskels.

Chemische Reizung. Fast alle Nervenreize erregen auch den Muskel. Auf den Muskel wirkt auch Ammoniak. Die chemischen Reize vernichten auch die Erregbarkeit.

Elektrische Reizung. Wie beim Nerv.

---

[1]) Die Geschichte der Entdeckung und des Streites zwischen Galvani und Volta ist nachzulesen in: E. Du Bois-Reymond, Untersuchungen der thierischen Elektricität, Bd. I, Berlin 1848.

3. Directe Erregbarkeit des Muskels. Curare.

Ist die Muskelfaser direct erregbar oder kann der Muskel nur durch Erregung seines Nerven in Contraction versetzt werden, beruht also die Wirkung der Reize in unseren zuletzt angestellten Versuchen auf der Erregung der Nervenfasern, die in dem Präparate noch enthalten sind?

Für die Annahme der directen Erregbarkeit des Muskels spricht:

1. Die von uns schon gemachte Beobachtung, dass Ammoniak den Muskel reizt, den Nerven nicht.

2. Der Sartorius hat, wie Kühne[1]) gezeigt hat, an seinen Enden in einer Ausdehnung von $^1/_8$ der Länge des ganzen Muskels keine Nerven. Man reize nun den Sartorius an den nervenfreien Stellen, d. i. dicht an seinen Enden mit Scheerenschnitt: der Muskel zuckt.

3. Ein Versuch an einem mit Curare vergifteten Frosch.

Curare (Urari, Worara), indianisches Pfeilgift, ist der eingedickte Saft mehrerer Strychnos- und Paullinia-Arten, pechähnliche, braunschwarze amorphe Masse. Die Curare-Sorten sind verschieden wirksam.

Curare löst sich in Wasser nur unvollkommen, der wirksame Bestandtheil, das Curarin löst sich in Wasser.

Man stellt eine Lösung von Curare her, die 1 g in 100 ccm Wasser enthält und filtrirt die Lösung, um die unlöslichen Bestandtheile zu entfernen. Da die Lösung leicht schimmelt und das Schimmeln ihre Wirksamkeit verändert, so empfiehlt es sich, zu jedem Versuch die Lösung frisch zu bereiten.

Einführen des Giftes in den Körper.

Per os eingeführtes Curare wirkt nicht, weil es vom Magen oder Darm aus langsam in den Körper aufgenommen und dann schnell durch die Nieren wieder ausgeschieden wird. Es häuft sich deshalb im Blute nicht so an, dass Giftwirkung erfolgen kann. Man muss die Lösung daher subcutan oder intravenös einführen.

Subcutane Injection. Man schneidet einen kleinen Schlitz in die Rückenhaut des Frosches mit einer Scheere und bringt mit der Pincette ein Krümchen Curare in den unter der Rückenhaut befindlichen Lymphsack, —

[1]) Archiv für Anat. u. Physiol. 1859, S. 564. In demselben Bande finden sich mehrere Abhandlungen Kühne's über die directe Erregbarkeit des Muskels.

oder man führt in den Schlitz die Spitze einer feinen Pipette ein, in die man soviel von der Lösung aufgesaugt hat, als man in den Körper einführen will. Die Flüssigkeit fliesst aus der Pipette in den Lymphsack hinein; man hält dann mit einem Finger den Schlitz in der Rückenhaut zu und verreibt die injicirte Lösung unter der Haut, —

oder man injicirt die Giftlösung mit einer Pravaz'schen Spritze unter die Rückenhaut. Das offene Ende der Pravaz'schen Spritze ist zu einer feinen Spitze zugeschliffen, die man leicht unter die Haut einstechen kann.

Intravenöse Injection. Die Giftlösung wird eingeführt in die sogenannte Bauchvene, die in der Linea alba der Bauchwand von unten nach oben verläuft. Man stellt sich aus einem feinen Glasröhrchen eine Pipette her von der Form, wie sie Fig. 6 in vergrössertem Massstabe zeigt. Das eine Ende der Glasröhre ist zu einer feinen Spitze ausgezogen und umgebogen. Beide Enden sind offen. Man saugt in das spitze Ende so viel von der Giftlösung auf, als man braucht. Man schlitzt die Bauchhaut des Frosches auf und sieht dann die Vene schon in der Linea alba. Durch einige Scheerenschnitte legt man die Vene etwas frei, schneidet sie dann ein, führt die Spitze der Pipette in das Loch in der Vene ein, so dass die Oeffnung der Pipette nach dem Herzen hinsieht, und lässt die Lösung aus der Pipette in die Vene hineinlaufen.

Fig. 6.

Man führt beim Frosch 2—3 Tropfen der 1procentigen Lösung ein. Nun setzt man den Frosch unter eine Glasglocke. Bis zum Eintritt der Vergiftung vergeht einige Zeit, bei subcutaner Injection etwa 15—30 Minuten, bei intravenöser weniger.

Die **Wirkung des Gifts** äussert sich darin, dass der Frosch ganz bewegungslos ist, wie todt daliegt. Das Herz schlägt noch, man sieht es meist schon bei unversehrtem Körper schlagen; wenn nicht, so öffne man den Thorax und überzeuge sich davon.

Nun lege man den Schenkelnerven frei und reize ihn durch einen Schnitt — die zugehörigen Muskeln zucken nicht. Reizt man aber die Muskeln direct, so contrahiren sie sich.

Einen zweiten Frosch vergifte man auch mit Curare, nachdem man vorher Folgendes gemacht hat: Der Schenkelnerv wird an der

Rückenseite des Oberschenkels frei gelegt, aber so, dass die ihn begleitenden Gefässe nicht verletzt werden. Man wickelt zu dem Zweck den Frosch in ein Tuch ein, so dass er sich nicht bewegen kann. Die Rückenseite eines Oberschenkels muss unbedeckt bleiben. Auch kann man den Frosch in Bauchlage mit Fäden, die um die Extremitäten geschlungen sind, festbinden auf einem passend grossen Brettchen, das am Rande mit Nägeln oder Einschnitten zum Festbinden oder Festklemmen der Fäden versehen ist. Man macht einen Schnitt in die Haut an der Rückenseite des Oberschenkels, da wo man den Nerven vermuthet, und holt den Nerven aus der Furche zwischen Biceps und Semimembranosus hervor. Das muss vorsichtig geschehen, damit die Gefässe nicht verletzt werden und keine Blutung eintritt. Nun führt man einen Faden unter dem Nerven hindurch und bindet mit diesem Faden den ganzen Oberschenkel — also mit Ausnahme des Nerven — ab. Dann wird der Frosch vergiftet. Das ins Blut gelangende Gift kann nicht in den Unterschenkel der operirten Seite gelangen, weil durch das Abbinden der Kreislauf hier aufgehoben ist, wohl aber in alle anderen Theile des Körpers. Wenn die Vergiftung eingetreten ist, sieht man wieder die sämmtlichen willkürlichen Bewegungen aufgehoben, mit Ausnahme der des Unterschenkels der operirten Seite. Reizt man den Schenkelnerven der operirten Seite durch einen Schnitt und zwar an einer Stelle, wo die Versorgung des Nerven mit Blut noch normal gewesen war, also etwa in seinem Verlaufe durch die Bauchhöhle, so erfolgt Zuckung im zugehörigen Unterschenkel, reizt man den der unverletzten Seite, so erfolgt keine Zuckung. Dies beweist, dass das Curare nicht den Nerven selbst, sondern seine Endigungen im Muskel gelähmt hat. Da ein durch Curare der Nerveneinwirkung entzogener Muskel nun doch noch direct gereizt sich contrahirt, so ist damit die directe Erregbarkeit des Muskels erwiesen.

Der wirksame Bestandtheil des Curare wird unverändert mit dem Harn wieder ausgeschieden. Man kann mit dem Harn eines curarisirten Frosches einen zweiten vergiften, mit dem Harn des zweiten einen dritten.

Die elektrische Reizung wird bei weiteren Untersuchungen vorgezogen, weil sie die Präparate am wenigsten schädigt. Wir haben uns daher mit der elektrischen Reizung und mit den dazu verwendeten Apparaten zunächst noch näher vertraut zu machen.

III. Kapitel.

Erregung von Nerv und Muskel mit dem constanten Strom.

Die elektrischen Apparate sind in der physiologischen Methodik hauptsächlich eingebürgert worden durch die Arbeiten Du Bois-Reymond's (s. dessen Untersuchungen über thierische Elektricität, 2 Bde., Berlin 1848—1859 und Gesammelte Abhandlungen zur allgemeinen Muskel- und Nervenphysik, 2 Bde., Leipzig 1875—1877).

1. Physikalische Vorbemerkungen,

enthaltend die Sätze aus der Elektricitätslehre, die zum Verständniss der in der Physiologie gebräuchlichen elektrischen Apparate nöthig sind.

a) Constanter Strom.

Taucht man zwei verschiedene Metalle oder Kohle und ein Metall in eine Flüssigkeit, ohne dass sie sich berühren, so sammelt sich an den hervorragenden Enden, den sogenannten Polen, verschiedene Elektricität, an dem einen positive, an dem anderen negative.

Beispiel: Eine Zinkplatte und eine Kupferplatte in verdünnter Schwefelsäure; die Erzeugung der Elektricität in dieser Vorrichtung geht einher mit einem chemischen Process, nämlich Bildung von schwefelsaurem Zink, das in der Flüssigkeit gelöst wird, und Freiwerden von Wasserstoff, der sich der Kupferplatte in Form feiner Bläschen auflagert. Das Zink ist der negative, das Kupfer der positive Pol.

Verbindet man die Pole durch einen Metalldraht, so gleichen sich die Elektricitäten aus, es geht ein Strom durch den Draht.

Als Verbindungs- resp. Leitungsdrähte verwenden wir in unseren Versuchen dünne Kupferdrähte, die zur Isolirung mit Seidenfäden oder Guttapercha umwickelt sind. Es ist darauf zu achten, dass diese Drähte an ihren Enden frei von Schmutz, blank sind, damit die leitende Verbindung mit den Polen resp. Polschrauben möglich ist.

Stromrichtung ist die Richtung vom positiven zum negativen Pol.

Ueber die Bestimmung der Stromrichtung s. S. 29.

Da die Elektricitäten immer wieder von Neuem gebildet und an die Pole abgegeben werden, so geht der Elektricitätsstrom continuirlich durch den Draht: **Constanter Strom.**

Die beschriebene Vorrichtung zur Erzeugung des Stroms heisst galvanisches Element. Die Zusammenstellung mehrerer Elemente heisst Kette oder Batterie.

b) Elektromotorische Kraft. Stromstärke. Widerstand.

A. Elektromotorische Kraft oder Polspannung ist die durch das Element erzeugte Kraft, die die Elektricitätsbewegung im Leitungsdraht verursacht. Sie hängt ab von der Natur der festen und flüssigen Stoffe des Elements, nicht von seiner Grösse und Gestalt.

Im elektrischen Masssystem heisst die Einheit der Spannung „Volt“ [1]).

B. Stromstärke ist die Elektricitätsmenge, die in einer Secunde durch den Querschnitt der Leitung geht [2]). Die Einheit der Stromstärke heisst „Ampère“.

Zum Nachweis elektrischer Ströme und zur Messung der Spannung und der Stromstärke benutzt man die Ablenkung der Magnetnadel durch den Strom. Ampère's Regel: Man denke sich mit dem Strome (also vom + zum −-Pol) schwimmend, Kopf voran, Gesicht der Nadel zugewendet: dann wird der Nordpol nach links abgewendet. Apparate zum Nachweis elektrischer Ströme heissen „Galvanometer“. Ueber die bei physiologischen Untersuchungen angewendeten Galvanometer s. XVI. Kapitel.

C. Widerstand. Jeder Körper, durch den der Strom geht (auch das Element, in dem er entsteht), bietet dem Strom einen Widerstand, der die Stromstärke schwächt.

Die Grösse des Widerstands hängt ab:

a) Von der Natur des Körpers. Danach unterscheidet man:

1. Leiter, die der Elektricität geringen Widerstand bieten. Gute Leiter sind z. B. die Metalle, weniger gute das Wasser;

2. Nichtleiter, die die Elektricität fast gar nicht durchlassen, z. B. Wolle, Seide, Glas, Harz, Gummi.

---

[1]) Ueber die Definition des Begriffs Volt s. die Lehrbücher der Physik. 1 Volt ist ungefähr die Spannung eines Daniell'schen Elements.

[2]) Um sich die Begriffe „elektromotorische Kraft“ und „Stromstärke“ klar zu machen, vergleiche man den elektrischen Strom mit dem Wasserstrome in einer Wasserleitung. Der Wasserstrom wird verursacht durch den „Wasserdruck“. Dem Wasserdruck entspricht die elektromotorische Kraft. Stromstärke ist in dem einen Falle die Elektricitätsmenge, im anderen die Wassermenge, die durch den Querschnitt der Leitung in der Secunde geht. Die Pumpe, die das Wasser zum hochgelegenen Bassin hebt, also den Wasserdruck erzeugt, entspricht dem elektrischen Element.

Um Missverständnisse zu verhüten, sei aber auch an den wesentlichen Unterschied zwischen den beiden Vorgängen erinnert. In der Wasserleitung strömt das Wasser, also Materie, im elektrischen Strom die Elektricität, d. i. eine besondere Form der Wellenbewegung, also Kraft.

b) Bei Körpern von gleicher Natur von den Dimensionen:

Der Widerstand ist der Länge des Leiters direct, dem Querschnitt umgekehrt proportional.

Man theilt den Gesammtwiderstand eines geschlossenen Stromkreises ein in:

1. den inneren Widerstand, d. i. der im Element. Dieser ist um so kleiner, je grösser die Oberfläche der Polplatten und je kleiner ihre Entfernung von einander ist;

2. den äusseren Widerstand, d. i. der des Schliessungsdrahts.

Messung des Widerstandes und Bestimmung des Widerstandes thierischer Gewebe s. XVII. Kapitel.

Als Einheit des Widerstands benutzt man entweder:

a) den „Ohm", d. i. der Widerstand einer Quecksilbersäule von 1,06 m Länge und 1 qmm Querschnitt;

b) die „Siemenseinheit", d. i. der Widerstand einer Quecksilbersäule von 1,0 m Länge und 1 qmm Querschnitt.

D. Abhängigkeit der Stromstärke von elektromotorischer Kraft und Widerstand. 1. Ohm'sches Gesetz. Es ist: 1 Ampère $= \frac{1 \text{ Volt}}{1 \text{ Ohm}}$.

2. Stromstärke von Zweigströmen. Verbindet man die beiden Pole des Elements nicht durch einen Schliessungsdraht, sondern durch zwei oder mehrere, so geht der Strom durch alle hindurch, er verzweigt sich — Zweigströme. Die Stromstärken der Zweigströme sind umgekehrt proportional den Leitungswiderständen der Zweigdrähte.

Auf die erwähnten Sätze gründen sich nun folgende:

c) Verfahren zur Aenderung der Stromstärke,

die in unseren Versuchen und in der Verwendung der Elektricität in der praktischen Medicin angewendet werden.

I. Aenderung der Stromstärke durch Aenderungen in der Batterie. Die Formel für das Ohm'sche Gesetz lässt sich auch allgemeiner so schreiben:

$$J = \frac{E}{W_1 + W_2},$$

worin J (Intensität) die Stromstärke, E die elektromotorische Kraft, W_1 der innere, W_2 der äussere Widerstand.

In der Batterie kann man ändern:

a) Grösse, insbesondere Oberfläche der Polplatten oder ihre Entfernung von einander. Wirkung: Veränderung von W_1, nicht von E; W_1 ist um so kleiner, je grösser das Element.

Gleichbedeutend mit Aenderung der Grösse der Elemente ist die Aenderung ihrer Zahl bei Anordnung neben einander, bei der alle positiven Polplatten mit einander verbunden sind zu dem einen, alle negativen Platten zu dem anderen Pol. Bei Aenderung der Zahl der Elemente ändert sich auch hier E nicht; W_1 verändert sich, wird um so kleiner, je grösser die Zahl der Elemente.

b) Die Zahl der Elemente bei Anordnung hinter einander, bei der der $+$-Pol des 1. Elements verbunden ist mit dem $-$-Pol des 2., der $+$-Pol des 2. mit dem $-$-Pol des 3. u. s. w.; Wirkung: Aenderung von E und W_1: beide sind proportional der Zahl der Elemente (vorausgesetzt, dass alle Elemente gleich gross sind).

Zur Veränderung der Stromstärke nimmt man in der Batterie:

1. die sub a beschriebene Aenderung vor, wenn W_2 bedeutend kleiner, als W_1 ist;

2. die sub b beschriebene, wenn W_2 bedeutend grösser ist. als W_1.

ad 1. Wenn W_2 bedeutend kleiner ist als W_1, so ist angenähert

$$J = \frac{E}{W_1}.$$

Aenderung sub a bewirkt in dem Bruche rechts keine Aenderung des Zählers, wohl aber eine des Nenners und dadurch Aenderung des Werthes des Bruches. Aenderung sub b bewirkt Aenderung des Zählers sowohl als des Nenners und zwar so, dass der Werth des Bruches derselbe bleibt.

ad 2. Wenn W_2 bedeutend grösser ist als W_1, so ist angenähert

$$J = \frac{E}{W_2}.$$

Aenderung sub a bewirkt in dem Bruche rechts nichts, denn es wird dadurch nur die verschwindend kleine und deshalb unberücksichtigt gebliebene Grösse W_1 geändert. Aus demselben Grunde bewirkt Aenderung sub b auch nicht Aenderung des Nenners, wohl aber des Zählers, weil E proportional der Zahl der hintereinander geordneten Elemente.

1 und 2 sind die Grenzfälle; wenn W_1 und W_2 nicht sehr verschieden gross sind, so wird sich durch eine Betrachtung analog der ad 1 und ad 2 angestellten eine Combination der sub a und b beschriebenen Aenderungen finden lassen, die die grösstmögliche Aenderung der Stromstärke bei möglichst geringem Materialaufwand liefert.

Uns interessirt hier hauptsächlich Fall 2, weil er für unsere Versuche zutrifft: W_2 ist nämlich hier sehr gross, weil in den Stromkreis die thierischen Gewebe eingeschaltet sind, auf die der Strom seine Wirkung äussern soll [1]).

II. Aenderung der Stromstärke durch Aenderungen der Widerstände im Stromkreis. Dies geschieht durch Einschaltung von langen dünnen Drähten oder von Flüssigkeitssäulen. Die hierzu dienenden Apparate heissen **Rheostate** oder **Rheochorde.** Die von uns benutzten sind folgende:

1. Einfacher Rheochord. Ein dünner, 1 m langer Metalldraht (Kupfer, Neusilber oder Platin) ist ausgespannt befestigt auf einer Holzleiste; seine Enden gehen über in zwei Metallklötze, auf ihm verschieblich ist ein dritter Metallklotz. Die Klötze tragen Schrauben zum Festschrauben von Drähten.

Man gebraucht den Rheochord in zweierlei Art:

a) Zur Widerstandsänderung im Hauptkreis. Der eine Pol des Elements wird durch einen Draht verbunden mit einem der Endklötze, der andere mit dem Schieber. Je weiter nun der Schieber von dem Klotz entfernt ist, desto grösser ist das Stück des Rheochords, durch das der Strom durchgeht, desto grösser mithin der Widerstand, und desto kleiner die Stromstärke. Die Anordnung

---

[1]) Um sich das Gesagte klar zu machen, kann man wieder die Vergleichung des elektrischen Stromes mit dem Wasserstrom heranziehen. Der Wasserdruck, der durch eine Saugpumpe erzeugt wird, kann nicht mehr als 10 m Wassersäule betragen. Wenn wir die Saugpumpe vergrössern oder mehrere Saugpumpen neben einander stellen, so können wir wohl mehr Wasser aufpumpen, aber keinen grösseren Druck erzeugen. Anders dagegen, wenn wir die Pumpen über einander stellen, so dass die erste das Wasser 10 m hebt, die zweite von da nochmals 10 m, also im Ganzen bis zu 20 m, die dritte bis zu 30 m u. s. w. Dann ist der erzeugte Druck der Zahl der Pumpen proportional.

Nehmen wir nun einmal an, eine Saugpumpe hebe in der Zeiteinheit eine Wassermenge a auf 10 m. Wenn nun das Wasserleitungsrohr so weit ist, dass bei einem Druck von 10 m mehr Wasser als a hindurchgetrieben werden kann — was einem kleinen W_2 beim elektrischen Strom entspricht —, so können wir grössere Stromstärke nur durch Vermehrung der Zahl der neben einander zu stellenden Pumpen erzeugen, weil dadurch die Quantität des gehobenen Wassers grösser wird, nicht aber der Druck. Ist aber das Wasserleitungsrohr so eng, dass a bei einem Druck von 10 m nicht in der Zeiteinheit hindurch kann, so muss der Druck erhöht werden, um grössere Stromstärke zu erhalten, nicht die Menge des Wassers. Das wird erreicht durch Stellung der Pumpen über einander.

Man nennt aus leicht ersichtlichen Gründen die Schaltung der Elemente neben einander auch Schaltung auf Quantität, diejenige hinter einander Schaltung auf Spannung.

ist schematisch dargestellt in Fig. 7, wo sich in den Stromkreis auch noch das Präparat (Nervmuskelpräparat) eingeschaltet findet. 1 und 2 sind hier die Endklötze, 3 der Schieber, d das im Stromkreis

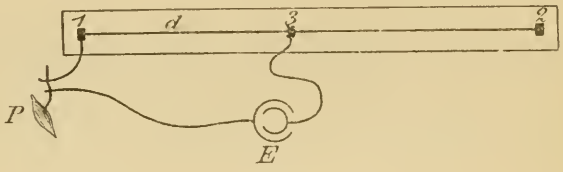


Fig. 7.

befindliche Stück des Rheochorddrahtes, das durch Verschieben von 3 vergrössert oder verkleinert werden kann, E das Element, P das Präparat.

b) Einschaltung des Rheochords in eine Nebenleitung. Bei Anwendung von Zweigleitungen nennen wir im Folgenden Hauptleitung den Zweig, in den das zu untersuchende Präparat eingeschaltet wird, Nebenleitungen alle anderen Zweige. Veränderung

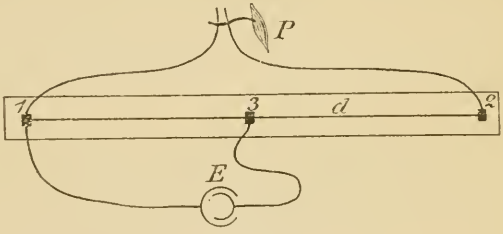


Fig. 8.

der Stromstärke in der Hauptleitung erhalten wir durch Aenderung des Widerstands in einer Nebenleitung, weil die Stromstärken der Zweigleitungen umgekehrt proportional sind dem Widerstand der Zweigdrähte. Man verbindet die Pole des Elements mit dem Rheochordende 1 und dem Schieber 3 und verknüpft ferner das mit dem Element verbundene Ende des Rheochorddrahts und den Schieber unter einander durch die Leitung, in die das Präparat eingeschaltet wird. Oder man verbindet die Pole des Elements mit einem Ende des Rheochords und dem Schieber, und ausserdem die beiden Enden des Rheochords durch die Leitung mit dem Präparat wie das Fig. 8 zeigt. Die Nebenleitung ist dann das Stück des Rheochords

zwischen 1 und 3, das Stück zwischen 2 und 3 gehört noch zum Hauptkreis. Die Stromstärke im Hauptkreis ist um so grösser, je weiter der Schieber 3 von dem Metallklotz entfernt steht. Man beachte übrigens, dass durch Verschiebung des Schiebers auch der Widerstand in der Hauptleitung sich ändert, weil die Entfernung von 2—3 anders wird. Diese Widerstandsänderung ist aber entgegengesetzt der in der Nebenleitung, und wirkt daher auf die Stromstärke im Hauptkreis in gleichem Sinne.

Alle anderen Rheochorde und Rheostaten werden in derselben Weise gebraucht, wie das eben beschriebene, entweder in die Hauptleitung oder in eine Nebenleitung eingeschaltet. In unseren Versuchen verwenden wir aber fast ausschliesslich die Einschaltung in eine Nebenleitung aus folgendem Grunde: Gegenüber dem grossen Widerstand des im Hauptkreis befindlichen Präparats sind die Aenderungen im Widerstande des Rheochords, falls es in den Hauptkreis eingeschaltet ist, von so geringem Betrage, dass wir dadurch nur unerhebliche Aenderungen der ganzen Stromstärke erzielen können.

2. **Rheochord von Pflüger**[1]) besteht aus einer geraden Zahl parallel neben einander auf einem Brett aufgespannter dünner Drähte von etwa 1 m Länge. Das rechte Ende des ersten (Fig. 9) und

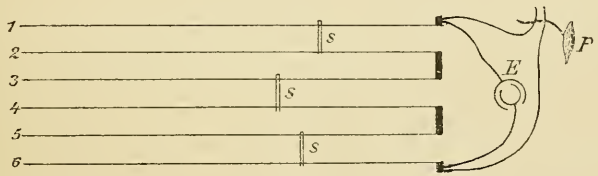


Fig. 9.

letzten dient zur Verbindung mit der Batterie, die entsprechenden Enden des 2. und 3., des 4. u. 5. u. s. w. sind durch Metallstücke fest mit einander verbunden. Je ein Schieber (s) befindet sich auf dem 1. und 2., 3. und 4. Draht u. s. w. Als Schieber kann man ein kurzes Stück dicken Drahtes verwenden, das an die beiden Drähte so angeklemmt wird, dass es sich noch an den Drähten entlang verschieben lässt. Der Strom hat, um vom rechten Ende des ersten bis zu dem des letzten zu gelangen, ein um so grösseres

[1]) E. Pflüger, Physiologie des Electrotonus, Berlin 1859, S. 122.

Stück Drahtes zu durchlaufen, je weiter die Schieber von den rechten Enden der Drähte entfernt sind.

3. **Rheochord von Du Bois-Reymond.** Ein langer Kasten trägt auf einer Breitseite 7 Messingklötze (1—7, Fig. 10). In die Spalten zwischen den Klötzen, mit Ausnahme der zwischen 1 und 2, können Messingstöpsel eingesteckt werden, wodurch eine gut leitende Verbindung vom 2. bis 7. hergestellt ist. Ausserdem sind die Klötze verbunden durch lange dünne Drähte aus Platin, die im Innern

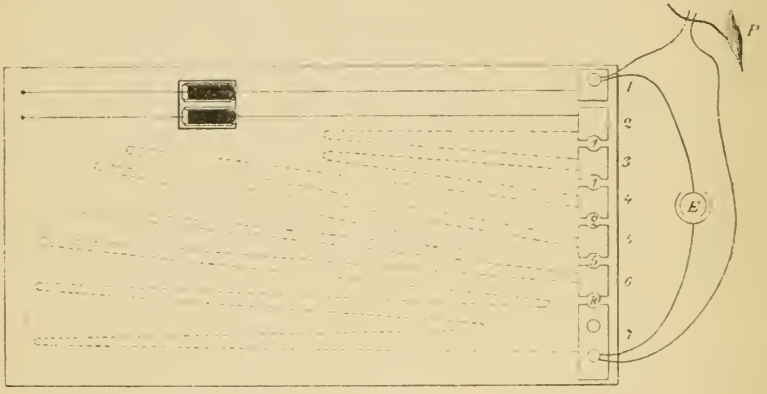


Fig. 10.

des Kastens verlaufen, wie die gestrichelten Linien in Fig. 10 schematisch zeigen. Der Draht zwischen Klotz 2 und 3 habe den Widerstand 1, dann hat der zwischen 3 und 4 auch 1, zwischen 4 und 5 2, zwischen 5 und 6 5, zwischen 6 und 7 10. Zieht man die Stöpsel aus, so muss der Strom durch die Drähte gehen, findet also grösseren Widerstand. Durch Ausziehen verschiedener Stöpsel lassen sich verschiedene Widerstände einschalten.

Klotz 1 und 2 sind in folgender Weise verbunden: Es gehen von ihnen zwei Drähte, etwas über 1 m lang, aus, die auf der Oberfläche des Kastens parallel neben einander ausgespannt sind. An den Drähten entlang ist ein Metallschieber s verschieblich von folgender Beschaffenheit: Er besteht aus einem Messingschlitten mit zwei Stahlhülsen, die mit Quecksilber gefüllt und mit Kork verschlossen sind. Durch das Quecksilber in den Hülsen gehen die beiden Drähte; sie werden durch die Korke stets rein gerieben. Der Widerstand der Leitung zwischen Klotz 1 und 2 wird nun um so grösser, je weiter der Schlitten von den Klötzen entfernt ist.

Er ist gleich dem des Drahtes zwischen Klotz 2 und 3, wenn der Schlitten 1 m von den Klötzen entfernt ist.

Klotz 1 und Klotz 7 tragen die doppelten Klemmschrauben, die zur Einschaltung des Apparats in den Stromkreis dienen. In Klotz 7 sind übrigens zwei solche Klemmschrauben, die eine ist fest, die andere steckt mit einem Stöpsel in dem Klotz. Wenn der Apparat als Nebenleitung eingeschaltet ist mittels der beweglichen Klemmschraube, und man nun den Klemmschraubenstöpsel auszieht, so hat man dadurch in einfachster Weise die Nebenleitung schnell ganz ausgeschaltet.

4. **Stöpselrheostat** oder **Widerstandskasten von Siemens.** Dieser ist gerade so eingerichtet, wie der Theil zwischen dem 2. und 7. Metallklotz von Du Bois-Reymond, nur sind hier die Drähte der Raumersparniss wegen auf Rollen gewickelt. Er enthält 16 Drahtrollen von verschiedener Länge. Neben jedem Stöpsel steht eine Zahl, die angiebt, wie viel Siemenseinheiten der mit der zugehörigen Rolle einzuschaltende Widerstand beträgt.

In den Rollen sind die einzelnen Lagen des Drahtes in entgegengesetzter Richtung gewickelt; dadurch wird die Inductionswirkung (s. IV. Kapitel) der Drahtlagen auf einander so viel als möglich vermieden.

Um sich mit dem Gebrauch der Apparate vertraut zu machen, kann man mit denselben Versuche in folgender Art anstellen: Man schaltet in die Hauptleitung statt des Präparats ein einfaches Galvanometer ein. Als Element verwendet man das S. 29 beschriebene Tauchelement. Ist der Strom geschlossen, so wird die Magnetnadel des Galvanometers abgelenkt. Verändert man in der beschriebenen Weise die Stromstärke im Hauptkreis, so ändert sich die Stellung der Nadel, und zwar ist die Ablenkung der Nadel um so geringer (aber nicht proportional!), je geringer die Stromstärke.

Statt des Galvanometers kann man auch die Kohlrausch'sche Stromwage zu diesem Versuche benutzen: Ein Magnet hängt vertical an einer Spiralfeder über einer vertical stehenden Drahtrolle. Geht ein Strom in bestimmter (an den Polschrauben des Apparats angegebener) Richtung durch die Rolle, so wird der Magnet in die Rolle hineingezogen und die Spiralfeder dadurch gespannt. Je stärker der Strom, desto tiefer wird der Magnet in die Rolle hineingezogen (auch nicht proportional). Ein aussen sichtbarer Zeiger giebt die Stellung des Magnets und damit an einer Skala die Stromstärke direct in Ampères oder Milliampères an.

d) Schlüssel und Stromwender.

Schlüssel dienen zur bequemen Schliessung oder Oeffnung einer Stromleitung. Die Schlüssel können in die Haupt- oder Nebenleitung eingeschaltet werden.

1. **Du Bois-Reymond's Tetanisirschlüssel.** Auf einer Hartgummiplatte (K, Fig. 11) sind zwei Messingklötze K_1 und K_2 mit

je zwei Polschrauben zur Verbindung mit den Stromleitungen befestigt. Ein Messingstück mit Elfenbeingriff e ist an dem einen Klotz K_2 beweglich angeschraubt und kann entweder so gestellt werden, dass es den andern berührt, mithin eine metallische Verbindung zwischen den beiden festen Metallklötzen herstellt (Schliessung des Stromkreises), oder so, dass es ihn nicht berührt (Oeffnung).

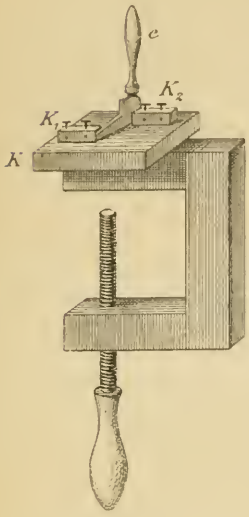


Fig. 11.

2. **Quecksilberschlüssel.** Die Enden der beiden Zuleitungsdrähte sind in einen mit Quecksilber gefüllten Napf getaucht (Schliessung), wird das eine Ende aus dem Quecksilber herausgezogen, so ist die Leitung geöffnet. Die Oberfläche des Quecksilbers muss rein sein. Einen solchen einfachen Quecksilberschlüssel kann man sich leicht selbst anfertigen. In bequemerer und vollendeterer Form besteht der Quecksilberschlüssel aus einem dicken Holzbrettchen, in dem sich der Napf befindet und an dem sich eine Polschraube befindet, die mit dem Quecksilber im Napf durch einen Draht verbunden ist. Ein mit Polschraube und Elfenbeingriff versehener, um eine Axe beweglicher Drahtbügel, der in das Quecksilber einzutauchen ist, dient zum Schliessen und Oeffnen des Stroms.

Auch verwendet man Quecksilberschlüssel mit zwei Näpfen, die leitend verbunden werden durch einen Drahtbügel, dessen eines Ende in den einen, das andere Ende in den anderen Napf einzutauchen sind. Bei Oeffnen des Schlüssels gehen beide Enden gleichzeitig aus den Näpfen heraus.

Pohl's Commutator, Stromwender, Wippe mit Kreuz. In einem runden Holzteller (H, Fig. 12 und 13) befinden sich in regelmässiger Anordnung in der Peripherie sechs Quecksilbernäpfe, jeder in Verbindung mit einer Polschraube. Zwei einander gegenüberstehende Näpfe 1 und 2 sind verbunden durch eine bogenförmige Brücke, die in der Mitte aus Glas, an beiden Enden aus dickem Metalldraht besteht. Mit jedem dieser Metalldrähte ist ein Metallbügel in Verbindung. Die Enden dieser Metallbügel stehen je nach Lage der Brücke entweder in den Näpfen 5 und 6 (Fig. 12), oder in 3 und 4

(Fig. 13). Napf 5 ist durch ein Drahtstück mit 4 in Verbindung, 6 mit 3; die beiden Drahtstücke sind in der Mitte gegen einander isolirt. In 1 und 2 werden die zuleitenden Drähte eingeschraubt. Bei 5 und 6 die ableitenden. Bei Stellung der Bügel in 5 und 6 (Fig. 12) geht die Leitung von 1 nach 5, von 2 nach 6. Bei Stellung

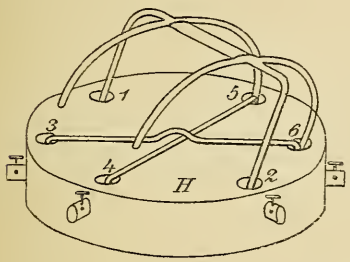


Fig. 12.

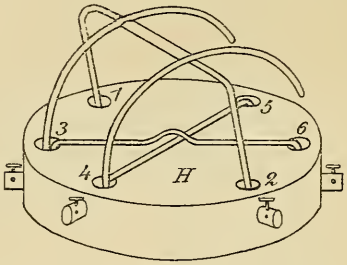


Fig. 13.

der Bügel in 3 und 4 geht die Leitung von 1 zunächst nach 3 und von da nach 6, von 2 zunächst nach 4 und von da nach 5, also in umgekehrter Richtung als das erstemal.

Wippe ohne Kreuz. Nimmt man aus der Wippe das Kreuz, das sind die Stücke, welche Napf 3 mit 6 und 4 mit 5 verbinden, heraus, so dient die Wippe dazu, den Strom je nach Wunsch bald durch das eine, bald durch das andere von zwei verschiedenen Drahtpaaren zu senden. 1 und 2 sind wieder in Verbindung mit der Batterie, 5 und 6 mit dem einen Drahtpaar, 3 und 4 mit dem anderen. Bei Stellung der Bügel in 5 und 6 geht der Strom durch das eine Drahtpaar, bei Stellung in 3 und 4 durch das andere.

e) Polarisation. Unpolarisirbare (constante) Elemente und Elektroden.

I. Bei dem Process, der sich im Element abspielt, entstehen Zersetzungsproducte, die schwächend auf den Strom einwirken können.

So wird bei einem Zink-Kupferelement in Schwefelsäure Wasserstoff gebildet und an der Kupferplatte in Form feiner Bläschen abgeschieden, der die vollständige Berührung der Platte mit der Flüssigkeit hindert und ausserdem selbst elektromotorisch wirksam ist, und zwar einen dem ursprünglichen Strom entgegengesetzten erzeugt; dadurch wird der ursprüngliche Strom nach einiger Zeit schwächer.

Man nennt dies **Polarisation**: um sie zu verhindern, um also den Strom möglichst constant zu halten, hat man die sogenannten unpolarisirbaren oder constanten Elemente construirt.

Constante Elemente. 1. **Daniell's Element** (Fig. 14). Zinkplatte in verdünnter Schwefelsäure (1 Theil Säure auf 10 Theile Wasser); Kupferplatte in einer Kupfervitriollösung. Die Kupfervitriollösung befindet sich in einem porösen Thoncylinder, der in der Schwefelsäure steht. Bei Entstehung des Stroms wird Kupfervitriol zersetzt; es scheidet sich dabei Kupfer an der Kupferplatte aus und Schwefelsäure geht durch die poröse Thonwand nach aussen. Dadurch wird die bei Bildung des schwefelsauren Zinks verbrauchte Schwefelsäure immer wieder ersetzt. Das Zink ist der negative, das Kupfer der positive Pol. Die elektromotorische Kraft dieses Elements ist 1,1 Volt.

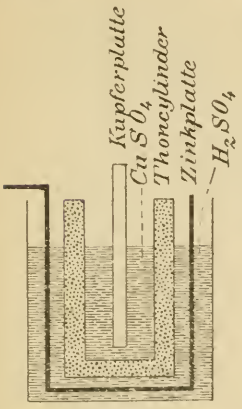


Fig. 14.
Schema des Daniell'schen Elements.

Man verwendet nicht reines Zink, sondern besser amalgamirtes, weil dann die elektromotorische Kraft grösser ist und das Zink langsamer verbraucht wird.

Amalgamiren des Zinks: Die Zinkplatte wird in verdünnte Salzsäure oder Schwefelsäure getaucht und darin gewaschen, bis ihre Oberfläche rauh geworden ist, dann mit Wasser abgespült. Dann wird Quecksilber aufgegossen und mit einer Bürste ordentlich auf der Oberfläche verrieben, zum Schluss wieder mit Wasser abgewaschen. Um die Amalgamirung zu erhalten, setzt man zu der Schwefelsäure im Daniell'schen Element etwas schwefelsaures Quecksilber zu, aus dem sich metallisches Quecksilber auf der Zinkplatte ausscheidet

$$HgSO_4 + Zn = ZnSO_4 + Hg.$$

Nach dem Gebrauch eines Elements müssen Zinkplatte und Thonzelle gut gewaschen, und letztere in Wasser gelegt werden, sonst scheidet sich in den Poren des Thons leicht Kupfer ab, das sie verstopft.

Wie früher auseinandergesetzt, kommt es bei den Versuchen, in denen der constante Strom direct auf das physiologische Präparat wirken soll, auf die Grösse der Elemente wenig an. Wir verwenden daher in diesem Falle, um an Material zu sparen, Elemente von besonders kleiner Form.

2. **Grove's Element.** Zink (—-Pol) in Schwefelsäure, Platin (+-Pol) in rauchender Salpetersäure. Der an der Platinplatte ent-

stehende Wasserstoff wird von der Salpetersäure oxydirt und so unschädlich gemacht. Die Spannung beträgt ungefähr 1,8 Volt.

Lästig sind bei Gebrauch dieses Elements die saueren Dämpfe. Um sich vor ihnen zu schützen, stellt man die Batterie nicht im Arbeitszimmer, sondern in einem anderen Raume auf und führt von da aus lange Leitungsdrähte bis ins Arbeitszimmer. Bedeckt man übrigens die Elemente mit einem nassen Lappen (aber so, dass keine Nebenschliessung durch den feuchten Leiter entsteht), so kann man die Batterie auch im Arbeitszimmer aufstellen, ohne durch die Dämpfe belästigt zu werden.

3. **Chromsäureelement.** Zink (—-Pol) und Kohle (+-Pol) in einer Lösung von 1 Theil Kaliumbichromat und 1 Theil Schwefelsäure in 8 Theilen Wasser. Der an der Kohle abgeschiedene Wasserstoff wird durch die Chromsäure oxydirt. Spannung: Ungefähr 2 Volt.

Das Element ist weniger constant als das Daniell'sche und Grove'sche. Da es aber bequemer zu handhaben ist, so wird es in allen Fällen, in denen es nicht so sehr auf genaue Constanz ankommt, gebraucht, vor Allem auch in der Elektrotherapie.

Besonders bequem sind die Chromsäureelemente in Form der sogenannten Tauchelemente oder -batterien, bei denen die beiden Platten oder die Zinkplatte allein bei Nichtgebrauch aus der Flüssigkeit emporgehoben, und darüber durch eine Schraube festgehalten werden. Das Tauchelement braucht nicht jedesmal nach dem Gebrauch gereinigt zu werden. Es wird von Neuem gefüllt, wenn die anfänglich rothe Flüssigkeit eine dunkelgrüne Farbe angenommen hat. Von Zeit zu Zeit wird seine Zinkplatte von Neuem amalgamirt.

II. Schaltet man in den Stromkreis einen feuchten Leiter ein oder lässt man den Strom durch eine Flüssigkeit gehen, so findet darin Zersetzung statt (**Elektrolyse**). Dabei werden Zersetzungsproducte gebildet, die ihrerseits elektromotorisch wirksam sind, und zwar einen elektrischen Strom erzeugen, der dem ursprünglichen entgegengesetzt ist, so dass dieser geschwächt wird. Auch das nennt man Polarisation.

Man benutzt die Elektrolyse zur Bestimmung der Richtung des Stromes. Man taucht die Enden der von den Polen kommenden Drähte in eine Lösung von Jodkalium und Stärke. Das Jodkalium wird zersetzt, so dass sich Jod an dem +-Pol abscheidet und in dessen Nähe die Stärke blau färbt. Ebenfalls auf der Elektrolyse beruht die Bestimmung der Stromrichtung mit Wilke's Reagenzpapier, das in der Elektromedicin

mit Vorliebe benutzt wird und käuflich zu haben ist. Das Papier wird angefeuchtet, auf eine Glasplatte gelegt und die beiden Poldrähte angelegt. Am negativen Pol entsteht ein rother Fleck.

III. An den Stellen, wo metallische Leiter mit feuchten in Berührung kommen, hat im Allgemeinen eine elektromotorische Kraft ihren Sitz. Wir haben demnach in einem geschlossenen Leiterkreise aus thierischen Theilen und Metallen der Natur der Sache nach noch elektromotorische Kräfte ausser denen, auf deren Wirkung oder Beobachtung es abgesehen ist.

Bei den Untersuchungen über die Wirkung der Elektricität auf Nerv und Muskel oder über die elektromotorischen Kräfte in denselben haben wir nun die Leitungsdrähte den thierischen Geweben anzulegen und damit sind die Bedingungen gegeben zum Entstehen von Strömen oder zur Veränderung der Stromstärke durch Polarisation.

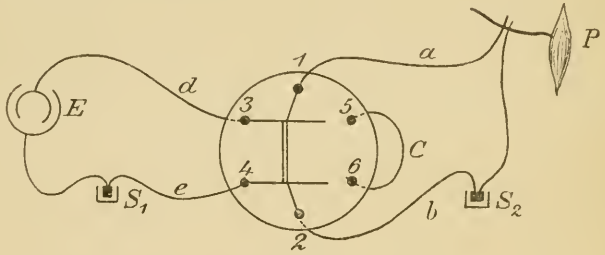


Fig. 15.

Von der Bedeutung der Polarisation für Reizversuche am Nerven kann man sich überzeugen durch folgenden Versuch:

Von den 6 Näpfen einer Wippe ohne Kreuz sind 1 und 2 (Fig. 15) verbunden mit zwei Drahtleitungen a und b, eine mit eingeschaltetem Quecksilberschlüssel S_2, deren Enden neben einander gelegt (am besten an einem Kork befestigt) werden, ohne sich zu berühren. Ueber die beiden Drahtenden wird der Nerv eines Froschschenkels gelegt. Die Näpfe 5 und 6 sind direct mit einander verbunden durch einen Draht c, 3 und 4 mit den Polen eines Tauchelements E durch die Leitungen d und e. In e befindet sich auch ein Quecksilberschlüssel S_1.

Die Wippe wird erst so gelegt, dass das Element mit dem Präparat in Verbindung steht. Fig. 15 zeigt diese Stellung. Schliesst man nun beide Quecksilberschlüssel, so geht der Strom durch den Nerven; man lässt ihn etwa 3—4 Minuten hindurch gehen, während

dessen nimmt man am Präparate nichts wahr, nur bei Schliessung und Oeffnung entsteht eine Zuckung, die uns hier aber nicht interessirt.

Nun legt man die Wippe um, so dass der Nerv statt mit dem Element nur mit dem Drahte c verbunden ist. Schliesst resp. öffnet man nun S_2, so erhält man Zuckungen; der Nerv wird gereizt durch den Strom, der in ihm selbst in Folge der Polarisation entsteht und durch den Leiterkreis a—c—b geht.

Man vermeidet die Polarisation durch die sogenannten

Unpolarisirbaren Elektroden.

Elektroden nennt man die Enden der Leitungsdrähte, die dem Gewebe angelegt werden, **Anode** den vom positiven, **Kathode** den vom negativen Pol kommenden.

Die gebräuchlichsten unpolarisirbaren Elektroden sind von Du Bois-Reymond angegeben und so beschaffen: Das Ende des Leitungsdrahtes geht über in ein amalgamirtes Zinkstück, das in eine concentrirte Lösung von schwefelsaurem Zink eingetaucht ist. Die Gewebstheile kann man mit der concentrirten Salzlösung nicht direct in Verbindung bringen, weil sie dadurch geätzt und zerstört würden; man schaltet deshalb zwischen die Salzlösung und das Gewebsstück etwas Modellirthon ein, der mit physiologischer Kochsalzlösung so getränkt ist, dass er sich bequem kneten lässt.

Die bekanntesten Formen solcher Elektroden sind:

1. Die zuerst von Du Bois-Reymond angegebene Form, die sogenannten **Zuleitungsgefässe.** Zwei viereckige Tröge (Fig. 16, Zn_1, Zn_2) von Zinkguss, inwendig amalgamirt, auswendig mit Asphaltlack gefirnisst, nehmen durch zwei (in der Figur nicht gezeichnete) angelöthete Schraubenklemmen die Leitungsdrähte auf. Sie sind gefüllt mit Zinkvitriollösung und es steckt in ihnen ein Fliesspapierbausch F, der mit derselben Lösung getränkt ist. Die Tröge sind so gestellt, dass die Stirnseiten der Bäusche, die über die Ränder der Tröge etwas vorragen, einander

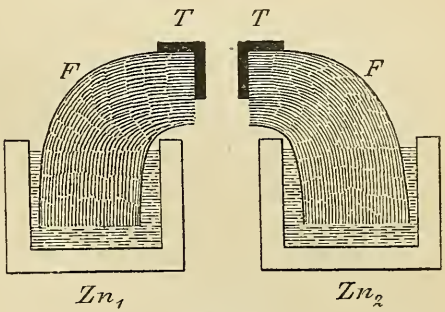


Fig. 16.
Schema der Zuleitungsgefässe von Du Bois-Reymond.

parallel gegenüberstehen und nur einen schmalen Zwischenraum zwischen sich lassen. Dieser Zwischenraum wird durch das Gewebsstück überbrückt, nachdem vorher die Stellen, denen die Gewebsstücke aufliegen sollen, mit dünnen Scheiben des Kochsalzthons T. bedeckt sind.

2. **Stiefelelektroden.** Ein mit dem Zuleitungsdraht verbundener amalgamirter Zinkstab (Fig. 17, Zn) ragt in ein Glasröhrchen, dessen untere Oeffnung mit einem Pfropf von Kochsalzthon T verschlossen und das mit Zinksulfatlösung gefüllt ist. Die Elektrode ist durch zwei Kugelgelenke K an einem Messingstativ befestigt, so dass ihr leicht jede Lage gegeben werden kann. Der Thonpfropf, der fein zugespitzt wird, kommt in Berührung mit dem zu untersuchenden Gewebsstück.

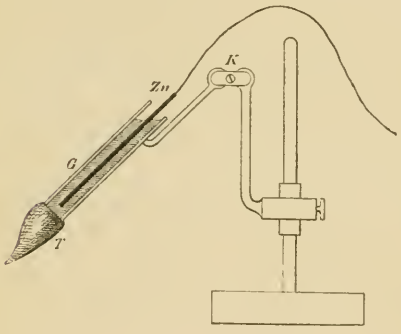


Fig. 17.

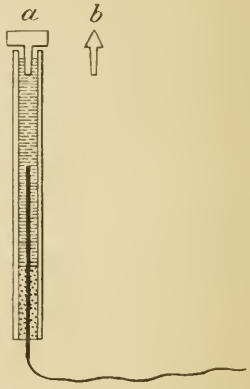


Fig. 18.

3. **Aufrechtstehende Elektrode** (Fig. 18). In ein aufrechtstehendes Glasröhrchen ragt von unten der amalgamirte Zinkstab, der an dem Leitungsdraht angelöthet ist. Das untere Ende des Röhrchens ist zugekittet. Durch die obere Oeffnung wird mit einer Pipette concentrirte Zinksulfatlösung eingegossen und das Röhrchen damit gefüllt. Dann setzt man oben einen Kochsalzthonpfropf auf oder besser ein Stückchen mit Kochsalzlösung getränkten festen porösen Thones, wie der zu den Elementen verwendete, dem etwa die Form eines Hammers gegeben ist. Der Stiel wird in das Glasröhrchen hineingesteckt, der Hammerkopf, der oben zugeschärft ist (Fig. 18, a von der Seite, b von vorn gesehen), ragt aus dem Rohre hinaus. Der Nerv wird über die Thonstücke gelegt.

Diese Elektroden haben den Vortheil, dass sie sehr klein zu

machen sind; man kann von ihnen daher leicht mehrere neben einander stellen, indem man sie an einem passenden Stativ befestigt, etwa in folgender Weise: Der in das Glasrohr hineinragende Zinkstab ist an seinem unteren Ende verlöthet mit einem horizontal gestellten, rechtwinklig gebogenen vierkantigen Kupferstäbchen K, das in der Weise, wie Fig. 19 zeigt, durch ein Holzstück H geht und darin verschieblich ist, in der Richtung, die der Pfeil angiebt. Solche Stäbchen liegen so viele neben einander in dem Holzstück H, als man Elektroden anwenden will. Die Elektroden sind alle in einer Reihe aufgestellt (in Fig. 19 sechs (E_1—E_6) von oben gesehen). Durch Verschieben der Kupferstäbe lässt sich den Elek-

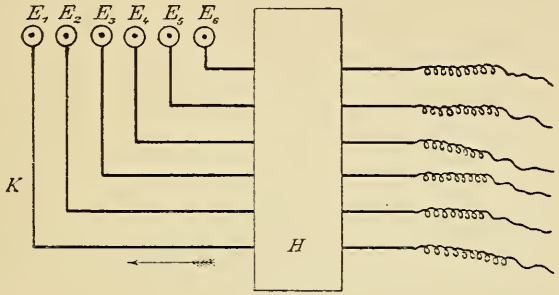


Fig. 19.

troden jede beliebige Entfernung von einander geben. Mit den Kupferstäben sind die Zuleitungsdrähte verbunden [1]).

4. Den höchsten Grad von Compendiosität erreichen die von Hermann (Pflüger's Archiv Bd. IV und VII) angegebenen Bayonnetelektroden, bei denen ein die Flüssigkeit enthaltendes Rohr dadurch entbehrlich gemacht ist, dass man auf amalgamirte Zinkdrähte Lager von Zinksulfatthon und auf diesen Kochsalzthon bringt.

Ausser diesen Formen sind noch viele andere angegeben worden, die aber alle auf dem gleichen Princip beruhen. Sie können hier nicht alle beschrieben werden.

2. Abhängigkeit der Erregung des Nerven von der Stärke und Richtung des Stromes. Zuckungsgesetz.

Literatur: Pflüger, Elektrotonus, Berlin 1859.

Apparate. Zehn kleine Daniell'sche oder sechs kleine Grove'sche Elemente. Siemens' Widerstandskasten. Du Bois-Reymond's

[1]) Dieser meines Wissens noch nicht beschriebenen bequemen Vorrichtung bedient sich Herr Professor Fick seit Jahren bei Demonstrationsversuchen.

Rheochord. Ein Quecksilberschlüssel. Wippe mit Kreuz. Zwei Stiefelelektroden.

Präparat. Stromprüfender Froschschenkel, am Stativ befestigt, wie Fig. 3 zeigt, oder Nervmuskelpräparat im Muskeltelegraph.

Aufstellung. Schema derselben in Fig. 20. Die Elemente B werden hinter einander geschaltet. Der Widerstandskasten S.W. kommt in die Hauptleitung. Du Bois' Rheochord R als Nebenleitung eingeschaltet, die Wippe mit Kreuz W in die Hauptleitung zwischen Rheochord und Elektroden. Der Quecksilberschlüssel S in den Theil der Hauptleitung zwischen Batterie und Rheochord.

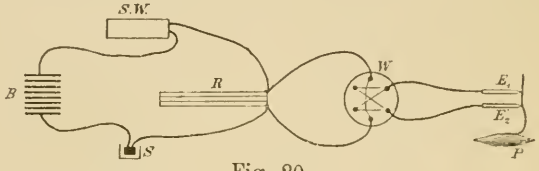


Fig. 20.

Die Elektroden E_1 und E_2 werden so gestellt, dass man den Nerven des Präparats P bequem über die beiden Thonpfröpfe legen kann. Das Präparat muss gut feucht gehalten werden. Man stelle das Präparat erst her, wenn die ganze Aufstellung vollendet ist und richte sich so ein, dass man nach dem Auflegen des Nerven auf die Elektroden sofort den Versuch beginnen kann.

Um sich vorher zu überzeugen, dass die Stromleitung in Ordnung ist, kann man zwischen die Enden der Elektroden ein Galvanometer einschalten und den Strom damit nachweisen.

Ausführen des Versuchs. Die Wippe wird so gestellt, dass die negative Elektrode dem Muskel zunächst liegt, die positive weiter entfernt. Der Strom geht dann im Nerven in der Richtung vom Centrum zur Peripherie, er ist **absteigend.**

Der Strom wird mit Hilfe der Rheostaten so schwach gemacht, dass Schliessen oder Oeffnen (im Quecksilberschlüssel) keinen Effect hat. Zu dem Ende steckt man ins Rheochord alle Stöpsel ein und schiebt den Schieber bis zur Berührung an die beiden Metallklötze 1 und 2 (Fig. 10) heran. Sollte das noch nicht genügen, so werden durch Ausziehen von Stöpsel im Widerstandskasten so viele Widerstände eingeschaltet, dass gerade die gewünschte Stromstärke erhalten ist.

Nun verstärkt man den Strom um einen kleinen Betrag, und

zwar zunächst durch Verschiebung des Schlittens des Rheochords. Bei der neuen Stromstärke wird der Quecksilberschlüssel S geschlossen und geöffnet, das Präparat beobachtet und notirt was erfolgte. Dann wird wieder der Strom verstärkt und gereizt und so fort bis zu den stärksten möglichen Strömen.

Bei diesen verschiedenen mit einander zu vergleichenden Einzelversuchen ist es nöthig, dass die Schliessung und Oeffnung immer in gleichmässiger Weise vorgenommen wird, so dass der zeitliche Verlauf des Schliessungs- und Oeffnungsvorgangs immer uniform ist. Um dieser Forderung bei Schliessung und Oeffnung eines Quecksilberschlüssels mit der Hand möglichst gerecht zu werden, muss man den Schlüssel allemal mit gleicher Geschwindigkeit bewegen, am besten ihn so schnell als möglich schliessen und öffnen. Wenn man so verfährt, so werden die Schliessungen und Oeffnungen für den vorliegenden Versuch hinlänglich uniform.

Freilich bietet dies Verfahren nicht absolut Gewähr, dass die Schliessungen und Oeffnungen wirklich allemal genau uniform sind. In den Fällen, wo die Forderung streng erfüllt sein muss, wendet man daher noch besondere Apparate zur Erzeugung uniformer Schliessungen und Oeffnungen an. Siehe darüber: Pflüger, Elektrotonus, S. 110.

Für Schliessung: Ein stets aus gleicher Höhe fallendes Gewicht schliesst durch Eintauchen einer an ihm befestigten Spitze in Quecksilber den Strom.

Für Oeffnung: Die Fallbewegung wird benutzt zur Oeffnung eines federnden Ruhecontacts. (Näheres über solche Contacte findet sich noch im VII. Kapitel: Oeffnen eines Federcontacts durch eine bewegte Schreibfläche.)

Man nimmt bei dem beschriebenen Versuche Folgendes wahr: Bei den schwächsten Strömen, bei denen überhaupt ein Erfolg da ist, erhält man nur bei Schliessung eine Zuckung, bei etwas stärkeren Strömen, den sogenannten mittelstarken, sowohl bei Schliessung als bei Oeffnung, während der Strom geschlossen ist, also durch den Nerven hindurchgeht, nimmt man am Muskel nichts wahr. Verstärkt man nun den Strom noch mehr, so wird die Oeffnungszuckung schwächer und bleibt schliesslich wieder ganz aus.

Nun wird die Wippe umgelegt, so dass der **Strom aufsteigend** wird, und wieder in derselben Weise bei verschiedener Stromstärke gereizt. Bei schwachen und mittelstarken Strömen erhalten wir dasselbe, wie beim absteigenden Strom, bei starken dagegen bekommen wir bei Oeffnung eine Zuckung, bei Schliessung aber keine oder höchstens eine schwache. Auch hier ist während des Bestehens des Stromes am Muskel nichts wahrzunehmen. Reizend wirken also nur Entstehen und Verschwinden des Stromes.

Zu bemerken ist, dass dann, wenn der Strom lange geschlossen gewesen ist, bei der Oeffnung statt der Zuckung häufig dauernde Contraction, der sogenannte **Ritter'sche Oeffnungstetanus**, eintritt, der bei Wiederschliessung aufhört, dagegen durch Schliessung eines in entgegengesetzter Richtung durch den Nerven durchgehenden Strom (erhalten durch Umlegen der Wippe) stärker wird.

3. v. Fleischl's Rheonom. Einschleichen des Stromes in den Nerven. Zeitreize.

Apparat. In einer Ebonitplatte befindet sich ein kreisförmiger mit concentrirter Zinksulfatlösung gefüllter Canal (Fig. 21). An zwei diametral gegenüberliegenden Punkten des Canals befinden sich zwei Zinkdrähte, die mit Polschrauben, A und B, in Verbindung

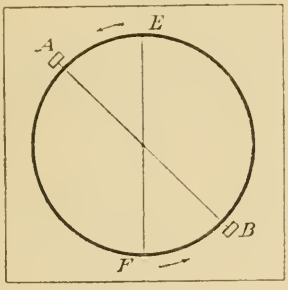


Fig. 21.

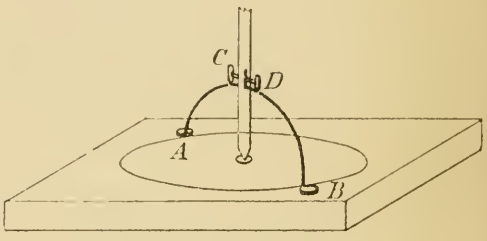


Fig. 22 (nach Stirling).

stehen. Im Mittelpunkt des Kreises senkrecht auf der Ebonitplatte (Fig. 22) steht eine drehbare Axe, die zwei gebogene Zinkdrähte trägt, deren eine Enden an zwei diametral gegenüberliegenden Punkten in den Canal tauchen, während die anderen Enden verbunden sind mit den Polschrauben C und D.

Die Polschrauben C und D werden mit der Leitung zum Präparat verbunden, A und B mit der Leitung zur Batterie (zwei Daniell). Ausserdem wird ein Quecksilberschlüssel in die Leitung eingeschaltet.

Ausführen des Versuchs. Wenn man die gebogenen Zinkdrähte so stellt, dass ihre Enden bei A und B stehen, und dann den Strom schliesst, so geht der grösste Theil des Stromes durch die Zinkbügel nach dem Präparat, nur ein kleiner Theil durch die Zinksulfatlösung von A nach B, die zwei Nebenleitungen bildet. Es zuckt daher der Muskel je nach Richtung und Stärke des Stromes entweder bei Schliessung oder bei Oeffnung oder bei beiden. Dreht

man die Zinkbügel so, dass sie senkrecht auf die Linie AB gerichtet sind, so geht nichts vom Strome hindurch. Das Präparat reagirt nicht auf Schliessung und Oeffnung.

Wenn man bei der letzten Stellung der Bügel den Schlüssel schliesst und dann plötzlich so weit dreht, dass ihre Richtung in die Linie AB fällt, so zuckt der Muskel, vorausgesetzt, dass beim ersten Versuch Schliessungszuckung erhalten wurde. Es ist das gleichbedeutend der Schliessung des constanten Stromes. Dreht man dagegen die Bügel sehr langsam, so reagirt das Präparat nicht. Man kann also so den Strom in den Nerv „**einschleichen**" lassen, ohne Erregung zu erhalten.

Von dem Einschleichen macht man in der Therapie dann Gebrauch, wenn man bei einem Patienten einen starken constanten Strom einwirken lassen will, den Patienten aber nicht der Unannehmlichkeit starker Erregung durch plötzliches Schliessen und Oeffnen des Stromes aussetzen will.

Wenn beim ersten Versuch Oeffnungszuckung erhalten wurde, so reagirt das Präparat auch, wenn man die Bügel aus der Richtung AB plötzlich so weit dreht, dass sie nun darauf senkrecht stehen, was der Oeffnung des Stromes im Nerven entspricht, nicht aber wenn man langsam dreht. Also: Die Stromschwankung wirkt um so stärker erregend, je schneller sie abläuft. Es ist dies das von Du Bois-Reymond sogenannte allgemeine Gesetz der Nervenerregung.

Bei den bisher angestellten Versuchen wurde die Erregung durch Schliessen oder Oeffnen des Stromes bewirkt. Nun lässt sich aber mit Hilfe des Rheonoms auch zeigen, dass Verstärkung oder Schwächung eines schon im Nerven bestehenden Stromes Erregung bewirken kann, und zwar so:

Die Drahtbügel werden zuerst in der Richtung EF (Fig. 21) eingestellt. Dann geht ein Theil des Stromes durch den Nerven. Dreht man nun plötzlich den Pfeilen entsprechend bis in die Richtung AB, so erhält man eine Zuckung. Dadurch ist der Strom verstärkt worden. Umgekehrt kann man auch Erregung erhalten, wenn man aus der Stellung AB in die Stellung EF, den Pfeilen entgegengesetzt dreht.

Wenn man bei dem beschriebenen Apparat die Zinkbügel aus der auf AB senkrechten Richtung in die Stellung AB mit gleichmässiger Geschwindigkeit dreht, so wächst die Stromstärke proportional der Zeit. Stellt man die Aenderung der Stromstärke durch eine Curve dar, deren Abscissen die Zeit, deren Ordinaten die Stromstärke bedeuten, so erhält man eine gerade Linie. Daher werden die Stromschwankungen „geradlinige" genannt; der Apparat selbst Orthorheonom.

In der vollkommeneren von v. Fleischl angegebenen Form besitzt der Apparat noch folgende Theile:

1. Ein Schwungrad, an der senkrechten Axe befestigt, das eine gleichmässige Bewegung des Apparates garantirt.

2. Damit die an den Polschrauben C und D befestigten Drähte mit dem Präparat bei der Bewegung des Apparates nicht mitgedreht zu werden brauchen, sind die gebogenen Zinkdrähte durch sogenannte Schleifcontacte mit der Leitung zum Präparat verbunden. Am besten werden diese Schleifcontacte hergestellt in Form zweier kreisförmiger Rinnen, die mit Quecksilber gefüllt sind und die über einander feststehen, so dass sich in ihrer Mitte die Axe bewegt. Nun taucht in die eine Quecksilberrinne das Ende eines Drahtes, der von C kommt, in die andere das Ende eines Drahtes von D. Diese Drahtenden bewegen sich bei der Drehung der Axe in den Rinnen. Von dem Quecksilber der Rinne sind die Drähte zu dem Präparat abgeleitet.

3. Durch zwei mit der beweglichen Axe verbundene verstellbare Nasen, die gegen ein Hebelwerk stossen, kann bewirkt werden, dass während einer Umdrehung eine Nebenleitung zum Hauptkreis erst geöffnet und bald darauf wieder geschlossen wird. Das Hebelwerk steht für gewöhnlich so, dass die Nasen nicht anstossen. Durch passendes Verstellen des Hebelwerks erhält man die Oeffnung und darauf folgende Schliessung der Nebenleitung, wenn man will. Das hat den Vortheil, dass man den Apparat zunächst in Bewegung setzen und warten kann, bis er gleichmässige Geschwindigkeit erlangt hat. Dann verstellt man erst das Hebelwerk und lässt nun während der Zeit zwischen Oeffnen und Schliessen der Nebenleitung die Stromesschwankung auf das Präparat einwirken. Beispielsweise kann man die Nasen so einstellen, dass die Oeffnung der Nebenleitung stattfindet, wenn der Bügel CD gerade senkrecht auf der Richtung AB steht, der Strom durch das Präparat also gleich 0 sein wird, und die Schliessung, wenn gerade eine halbe Umdrehung gemacht ist, so dass der Strom wieder gleich 0 ist. Es hat dann in dieser Zeit der Strom im Präparat erst zu-, dann wieder abgenommen. Man kann es auch so einrichten, dass die Schliessung der Nebenleitung erst nach mehreren Umläufen stattfindet, dann wird das Präparat also von einer Reihe auf einander folgender Reize getroffen. Zum Treiben des Apparats dient irgend ein Motor (Elektro- oder Wassermotor oder dergl. oder ein Uhrwerk), der durch Schnurlauf mit dem Apparat verbunden

wird, und der es gestattet, die Umdrehungsgeschwindigkeit zu variiren.

Weil beim Rheonom die Stromesschwankungen in endlicher Zeit erfolgen, so werden die damit erhaltenen Reize „**Zeitreize**“ (von Kries), zum Unterschied von den bei momentaner Schliessung und Oeffnung erhaltenen „**Momentanreizen**“, genannt.

Zeitreize und Momentanreize zeigen in ihrer Wirkung einige Verschiedenheiten. Näheres darüber, sowie über andere Apparate zur Erzeugung der Zeitreize siehe bei:

v. Fleischl, Sitzungsbericht der Wiener Akademie, III. Abth., Bd. LXXVI, 1877 und Bd. LXXXII, 1880.

J. v. Kries, Du Bois-Reymond's Archiv f. Physiol. 1885.

Fuhr, Pflüger's Archiv f. d. ges. Physiol., Bd. XXXIV, S. 510 und Bd. XXXVIII, S. 313.

Metzner, Du Bois-Reymond's Archiv f. Physiol. 1893.

4. Directe Reizung des Muskels mit dem constanten Strom. Momentan- und Zeitreize.

Apparate und deren **Aufstellung** wie bei Reizung des Nerven, nur fällt die Wippe mit Kreuz weg.

Präparat. Doppelsemimembranosus und -gracilis, lange Anordnung, in Muskeltelegraph oder Gastrocnemius.

Die Muskeln müssen von einem curaresirten Frosch genommen werden, damit der Einfluss der Nerven sich nicht geltend macht.

Die Elektroden können den Muskelenden nicht direct angelegt werden, weil ihre Lage sich bei der Contraction des Muskels verschieben würde. Man schaltet zwischen den Thonpfropf und das Muskelende ein Stück in Kochsalzlösung getauchten baumwollenen Fadens ein, das um beide geschlungen wird, dieses kann der Bewegung des Muskelendes folgen.

Wir erhalten, sofern der Strom überhaupt eine wirksame Stärke hat, bei Schliessung immer eine Zuckung, bei Oeffnung auch zuweilen, aber nicht immer. Während der Durchleitung des Stromes ist der Muskel dauernd verkürzt. Allerdings ist die Verkürzung sehr gering, bedeutend kleiner als bei der Schliessungszuckung. Diese Dauerverkürzung ist später noch genauer zu studiren, mit Hilfe der graphischen Methode (s. VIII. Kapitel).

Versuche mit directer Reizung des Muskels durch das Rheonom ergeben das entsprechende wie beim Nerven.

IV. Kapitel.

Erregung von Nerv und Muskel mit Inductionsströmen.

1. Induction, Schlitteninductorium von Du Bois-Reymond.

Ein elektrischer Strom erregt jedesmal, wenn er entsteht oder verschwindet oder sich überhaupt in seiner Stärke ändert, in einem neben ihm befindlichen geschlossenen Leiterkreis, der nicht mit dem

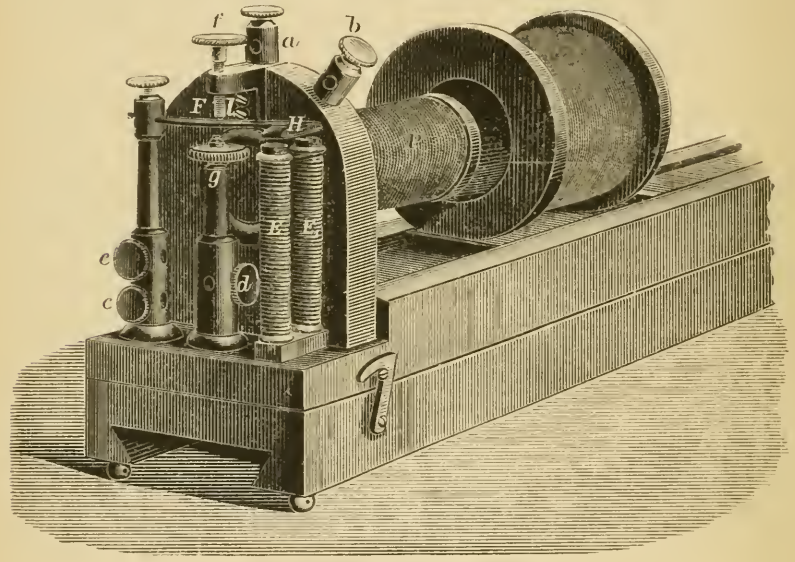


Fig. 23.

ersten Stromkreis leitend verbunden ist, einen zweiten elektrischen Strom von sehr kurzer Dauer. Beim Entstehen resp. Stärkerwerden inducirt er einen entgegengesetzten, beim Verschwinden oder Schwächerwerden einen gleichgerichteten Strom.

Der erregende Strom wird der primäre oder inducirende genannt, der erregte der secundäre oder inducirte.

Um Inductionsströme von grosser Stärke zu erzeugen, wickelt man den primären Leiter zu einer Spirale von wenigen, gegen einander isolirten Windungen dicken Drahtes zusammen, den secundären zu einer solchen von vielen Windungen dünnen Drahtes. Die inducirende Wirkung des primären Stroms wird noch verstärkt,

wenn wir in die primäre Spirale ein Bündel Drähte von weichem Eisen legen. Diese werden durch den Strom magnetisch, und die Zunahme oder Abnahme des Magnetismus wirkt in gleichem Sinne auf die secundäre Rolle inducirend, wie Entstehen und Verschwinden des primären Stroms.

Die Inductionsströme sind um so stärker, je näher die secundäre Spirale der primären steht.

Ein compendiöser Apparat zur Erzeugung der Inductionsströme ist das von Du Bois-Reymond angegebene und seitdem zu physiologischen Zwecken meist verwendete **Schlitteninductorium** (Fig. 23). Die secundäre Rolle ist hier auf einem hölzernen Schlitten befestigt, der auf einem Schlittengeleise so verschoben werden kann, dass sie einerseits ganz über die primäre Rolle P geschoben, anderseits bis auf 1 m von ihr entfernt werden kann; die langen Schlitten sind so eingerichtet, dass sie zusammengeklappt werden können. Am Schlittengeleise befindet sich ein Massstab, an dem man direct die Entfernung beider Spiralen von einander ablesen kann.

Die Stärke der Inductionsströme ist nicht einfach umgekehrt proportional dem Abstand der Rollen, sondern sie ändert sich mit der Entfernung der Spiralen nach einem verwickelten Gesetz. Wenn man wissen will, wie die Aenderung der Stromstärke bei bekannter Aenderung des Abstandes der Spiralen ist, so hat man die Apparate zu graduiren. Man bestimmt die Stromstärke der durch Schliessung eines constanten primären Stromes inducirten Ströme für verschiedene Rollenabstände durch die von den Inductionsströmen bewirkten Ablenkungen der Nadel eines sehr empfindlichen Galvanometers und notirt die Ergebnisse auf einer Skala, die man am Schlittengeleise anbringt. — Genaueres darüber findet man in:

A. Fick, Untersuchungen aus dem physiol. Laborat. der Züricher Hochschule, Wien 1869, S. 38.

v. Fleischl, Sitzungsbericht der Wiener Akademie, Bd. LII, 3. Abth., 1875.

Inductionsapparat von Bowditch. (Proceedings of the American academy of arts and sciences 1875, 12. Oct.) Die secundäre Spirale wird unter Beibehaltung desselben Abstandes von der primären um eine verticale Axe gedreht. In diesem Falle verhalten sich die Intensitäten wie die Cosinus der Winkel, die die Axen der primären und secundären Spirale mit einander bilden.

2. Reizversuche mit einzelnen Inductionsströmen. Unterschied des Schliessungs- und Oeffnungs-Inductionsstroms.

Anordnung des Versuchs: Für die Anwendung des Inductionsapparates trifft die für die directe Application des constanten

Stromes auf die Präparate gemachte Bemerkung nicht zu, dass die Stromstärke nicht durch Vergrösserung des Elements grösser gemacht werden kann, denn hier ist der äussere Widerstand des primären Stromkreises nicht gross. Wir schalten daher in den primären Strom grosse Elemente ein.

Wir verbinden die Pole eines grossen Tauchelements mit den beiden Polschrauben a und b (Fig. 23) des Du Bois'schen Schlittens und haben dadurch eine directe Verbindung zwischen Element und primärer Spirale hergestellt. In eine der Leitungen wird ein Quecksilberschlüssel eingeschaltet.

Die übrigen an der Stirnseite des Schlittens (in der Figur dem Leser zugekehrt) befindlichen Vorrichtungen wollen wir vorläufig ausser Acht lassen, weil wir sie jetzt noch nicht brauchen; wir lernen sie gleich kennen.

An die Polschrauben der secundären Spirale, die in der Figur nicht sichtbar sind, weil sie sich an der dem Leser abgewendeten Seite der secundären Rolle befinden, werden zwei lange, sehr dünne Drähte angeschraubt, deren Enden den Enden des Muskelpräparats direct angelegt werden. Wir wickeln die Drahtenden einmal um die Muskelenden herum, damit sie festsitzen. Die dünnen Drähte folgen den Bewegungen des Muskels leicht. Unpolarisirbare Elektroden sind hier nicht nöthig, weil die kurz dauernden Inductionsströme keine erhebliche Polarisation bewirken. Statt die Drahtenden direct anzulegen, kann man sie auch mit den Muskelenden durch Lamettastreifen verbinden, die ebenfalls den Bewegungen des Muskels leicht folgen.

Als **Präparat** verwenden wir einfach den **Gastrocnemius** (ohne Nerv): derselbe wird in Verbindung mit dem Unterschenkel gelassen und dann, wie der stromprüfende Froschschenkel, an einem Stativ befestigt oder frei präparirt und in den Muskeltelegraphen gebracht.

Versuch: Nun reizen wir, indem wir durch Schliessen und Oeffnen des primären Stromes die reizenden Inductionsströme erzeugen. Wir fangen dabei an mit einer Reizstärke, die noch keine Wirkung hat — entfernen also die secundäre Rolle so weit von der primären, bis jeder Erfolg ausbleibt. Dann schieben wir die secundäre Rolle der primären näher, reizen und notiren Rollenabstand in Centimeter und den Effect der Schliessung und Oeffnung. Dann schieben wir die Rollen wieder näher und reizen von Neuem u. s. f.

Resultat: Mit wachsender Reizstärke erhalten wir zuerst nur immer bei Oeffnung des primären Stromes Zuckungen, dann erst sowohl bei Schliessung als bei Oeffnung.

Dasselbe Experiment kann man auch mit einem **Nervmuskelpräparat** machen, dessen Nerven man reizt. Man erhält das gleiche Resultat, nur sind hier vielleicht die Stromstärken, bei denen einerseits die Oeffnungszuckungen allein, anderseits sowohl Schliessungs- als Oeffnungszuckungen auftreten, nicht genau dieselben wie bei directer Reizung des Muskels. Um die Enden der Zuleitungsdrähte dem Nerven bequem anzulegen, stellt man sich in folgender Weise ein **Reizelektrodenpaar** her: Zwei dünne Glasröhren, etwa 5 cm lang, werden parallel neben einander mit Bindfaden an einander gebunden. Man steckt durch die Röhrchen die zuleitenden Drähte so durch und kittet sie fest, dass sie mit ihren freien Enden etwa $^1/_2$—1 cm aus den Röhrchen hervorragen, beide auf derselben Seite. Nun kann man den Nerven bequem über die Drahtenden hinüberlegen, nachdem man das Elektrodenpaar selbst an einem passenden Stativ mit Korkzange befestigt hat.

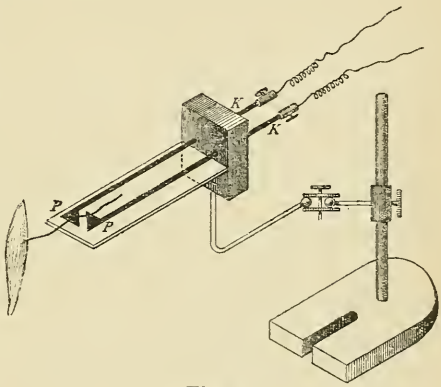


Fig. 24.

Du Bois-Reymond hat den Reizelektroden folgende zweckmässige Form gegeben: Die Kupferdrähte sind durch Polschrauben verbunden mit Kupferstäben K K, an deren Enden dreieckige Platinplättchen P P (Fig. 24) angelöthet sind; diese liegen neben einander über einer Glasplatte, so dass der Nerv bequem über sie gelegt werden kann. Die Elektroden sind durch ein Doppelkugelgelenk, das jede Stellung ermöglicht, verknüpft mit einem Stativ.

Den beschriebenen Versuch kann man nun endlich noch an **sensiblen Nerven** machen, und zwar an sich selbst. Man drückt die Kuppen des Zeige- und Mittelfingers der linken Hand auf die Polschrauben der secundären Spirale an. Da die trockne Haut dem Strome einen sehr grossen Widerstand bietet, so befeuchtet man die Fingerspitzen erst. Nun verschiebt man mit der rechten Hand die Rollen und nimmt die Schliessung und Oeffnung vor. Auch

hier spürt man Inductionsschläge zunächst nur bei Oeffnung, erst bei geringerem Rollenabstand auch bei Schliessung.

Die Ursache der verschiedenen Wirkung von Schliessung und Oeffnung des primären Stromes liegt nicht etwa im Präparat, sondern ist durch die Natur der Inductionsströme bedingt. Die Schliessungs- und Oeffnungsinductionsströme haben nämlich ungleichen zeitlichen Verlauf aus folgendem Grunde: Wenn der primäre Strom geschlossen wird, so entsteht nicht blos in der secundären Rolle ein inducirter Strom, sondern auch in der primären Rolle, weil hier jede einzelne Drahtwindung auf die benachbarten gerade so wirkt, wie die ganze primäre Spirale auf die secundäre. So entsteht in dem primären Stromkreis der sogenannte Extrastrom. Bei der Schliessung ist derselbe dem primären Strom entgegengesetzt und bewirkt, dass letzterer sich langsamer entwickelt. Der inducirte Strom ist nun um so mehr in die Länge gezogen, entwickelt also um so weniger Spannung und ist um so schwächer, je langsamer der primäre Strom entsteht. Bei der Oeffnung des primären Stroms ist in Folge des plötzlichen Oeffnens des Kreises dem Extrastrom der Weg abgeschnitten, er schwindet daher plötzlich und die Schwächung des inducirten Stromes fällt weg. Deshalb hat der Oeffnungsinductionsstrom einen schnelleren Verlauf, stärkere Spannung und damit auch stärker erregende Wirkung als der Schliessungsinductionsstrom.

Zu bemerken ist noch Folgendes: Bei der Erregung mit Inductionsströmen entsteht der durch das Präparat geleitete Inductionsstrom und verschwindet gleich darauf wieder. Das entspricht also einer Schliessung und schnell darauf folgenden Oeffnung eines constanten Stromes. Man sollte deshalb erwarten, dass auch die Reizwirkungen in derselben Weise zu Stande kämen, wie wenn wir einen constanten, durch das Präparat geleiteten Strom schliessen und danach wieder öffnen. Da beim Nerven sowohl Schliessung als Oeffnung des constanten Stromes reizend wirken können, würde man vermuthen, dass durch Inductionsströme der Nerv zweimal gleich hinter einander gereizt würde. Das ist aber nur der Fall, wenn Inductionsströme sehr stark sind, schwache wirken blos reizend bei ihrem Entstehen. Näheres darüber siehe Kapitel XV. 4.

Haben wir ein Mittel, den Schliessungs- und Oeffnungs-Inductionsstrom ganz oder angenähert gleich zu machen [1])?

---

[1]) Siehe darüber Du Bois-Reymond, Ges. Abhandl. Bd. I, S. 228.

Ja, wir erreichen das annähernd dadurch, dass wir den primären Stromkreis nie ganz öffnen, sondern den Strom nur verstärken oder schwächen. Das geschieht durch Oeffnen oder Schliessen einer Nebenleitung, die mit Hilfe von Schraubenklemmen so eingeschaltet wird, wie Fig. 25 es schematisch darstellt. Bei S findet sich der Quecksilberschlüssel, der zum Oeffnen oder Schliessen der Nebenleitung a S b dient. Jetzt findet auch eine Verzögerung des Oeffnungsextrastroms, eine allmähliche Abnahme desselben in der Hauptrolle statt, weil der Stromkreis, durch den er hindurchfliessen kann, nie offen ist; so erlangen beide Inductionsströme annähernd gleiche Spannung und dem entsprechend gleiche physiologische Wirkung. Man überzeuge sich davon durch besondere Experimente, die in entsprechender Weise angestellt

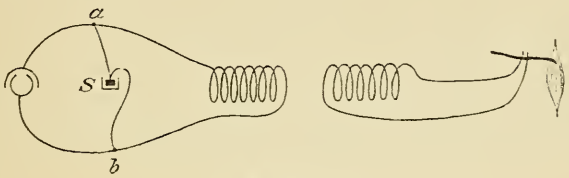


Fig. 25.

werden, wie die vorhin beschriebenen. Es sei noch besonders daran erinnert, dass die Oeffnung des Quecksilberschlüssels in der Nebenleitung gleichbedeutend ist der Schliessung des primären Stroms im früheren Versuche, und umgekehrt die Schliessung in der Nebenleitung gleichbedeutend der Oeffnung der Hauptleitung.

Die Inductionsströme sind hier natürlich schwächer als im früheren Versuche, weil nicht mehr der ganze Strom, sondern nur ein Theil desselben die inducirende Wirkung ausübt. Daher ist zur Erzielung einer Reizwirkung ein geringerer Rollenabstand nöthig. als im früheren Versuche.

3. Wagner'scher Hammer und Helmholtz'sche Vorrichtung. Unipolare Reizung.

Will man mehrere Inductionsschläge schnell nach einander auf ein Präparat wirken lassen, so bedient man sich dazu des

Wagner'schen Hammers, mittels dessen der primäre Strom sich selbstständig schliessen und öffnen kann. Der primäre Strom ist um zwei Stäbe aus weichem Eisen ($E E_1$, Fig. 23) herumgeführt und macht diese magnetisch. Die Eisenstäbe ziehen dann das über

ihnen an einer Feder F befestigte Eisenstück, den Hammer H, an. Die Feder lehnt an gegen einen Metallstift 1, wenn der Strom geschlossen ist; der Strom geht durch die Feder und von da in den Stift. Wird der Hammer angezogen, so hebt sich die Feder von dem Stift ab, der Strom wird dadurch geöffnet. In Folge dessen geht der Magnetismus der Eisenstäbe verloren, die Feder federt zurück gegen den Stift und schliesst den Strom wieder. Darauf werden die Eisenstäbe wieder magnetisch. Der Hammer wird wieder angezogen, öffnet den Strom u. s. f.

Wenn wir mit diesem Apparat einen Reizversuch anstellen wollen, so ist es uns erwünscht, das Spiel der Feder fortwährend gehen zu lassen, auch in der Zeit, wo wir den Muskel noch nicht reizen. Man sollte denken, dass man das am einfachsten bewerkstelligen könnte durch Einschalten eines Quecksilberschlüssels in die secundäre Leitung, den man schliesst, wenn das Präparat gereizt werden soll, und den man öffnet, wenn die Reizung aufhören soll. Das ist indess nicht statthaft, weil auch bei offener secundärer Leitung eine Reizung auftreten kann. Das ist die sogenannte

Unipolare Reizung. Die unipolare Reizung lässt sich durch folgenden Versuch nachweisen: Man legt dem isolirten Präparat das eine Ende des offenen Inductionskreises an und leitet das andere zur Erde ab, oder man legt dem Präparat nur einen Draht an und leitet zur Erde von einem Punkte des Präparats selbst ab, während das andere Ende der secundären Leitung isolirt ist. Die Ableitung kann man vornehmen durch einen Draht, dessen eines Ende dem Punkte angelegt wird, von dem abgeleitet werden soll, dessen anderes Ende in ein Abflussrohr der Wasserleitung gesteckt wird. Schliesst man nun den primären Kreis oder öffnet ihn, so erhält man Zuckungen des Präparats, obwohl der secundäre Kreis nicht geschlossen ist.

Die Ursache der unipolaren Inductionswirkungen liegt in den Bewegungen der Elektricität nach und von den Enden des offenen Kreises im Augenblick der Induction. Während der Ladung strömt nämlich die Elektricität durch den Leiter nach dessen Enden, nach der Ladung erfolgt die Entladung dadurch, dass die Elektricität in umgekehrter Richtung hindurchströmt.

Man kann sich vor den unipolaren Inductionswirkungen bei Versuchen sichern durch Folgendes:

1. Man lässt den secundären Kreis nie offen sein, sondern hält die Ströme vom Präparat fern durch eine gut leitende Neben-

schliessung im secundären Kreis. Diese wird hergestellt mit Du Bois-Reymond's Schlüssel. Oeffnet man den Schlüssel, so gelangen die Ströme ins Präparat, schliesst man den Schlüssel, so geht wegen des grossen Leitungswiderstands im Präparat fast der ganze Strom durch den Schlüssel und es bleibt Erregung des Präparats aus. Diese Anordnung treffen wir in allen Versuchen, wo wir die Präparate mit einer Reihe von auf einander folgenden Inductionsströmen reizen wollen.

2. Bei Nervenreizung leitet man von der dem Muskel zunächst am Nerven anliegenden Elektrode ab zur Erde (Draht zur Wasserleitung) [1]).

Die vorhin beschriebene Vorrichtung des Wagner'schen Hammers giebt ungleiche Schliessungs- und Oeffnungsinductionsströme. Um möglichst gleiche Ströme zu erhalten, bedient man sich hier desselben Princips, wie des vorhin beschriebenen: der primäre Kreis wird nie ganz geöffnet, sondern in ihm nur Stromverstärkung oder -schwächung erzielt durch Oeffnen und Schliessen einer Nebenleitung. Das geschieht mit Hilfe der

Helmholtz'schen Vorrichtung. Wenn der Hammer von dem elektromagnetischen Eisenkern angezogen wird, so wird die Feder gegen einen Stift gedrückt und dadurch die Schliessung einer Nebenleitung zu Stande gebracht. Es muss dabei natürlich eine solche Vorrichtung getroffen sein, dass durch die Bewegung der Feder der primäre Strom nie geöffnet wird. In Folge des Schlusses der Nebenleitung wird die Stromstärke im primären Kreis, auch in dem um den Elektromagneten geführten Draht geschwächt, der Magnetismus geringer, so dass die Feder den Hammer abreissen kann. Beim Losschnellen der Feder wird auch die Nebenleitung geöffnet, dadurch der Strom in der Hauptleitung wieder stärker, in Folge dessen der Hammer wieder angezogen u. s. f.

Am Schlitteninductorium von Du Bois-Reymond erhält man

1. das einfache Spiel des Wagner'schen Hammers, wenn man den Draht vom einen Pol der Batterie bei Polschraube c (Fig. 23) festschraubt, den andern bei d, dann die untere Schraube mit Contactstift g so weit herunterschraubt, dass die Feder mit ihr nicht mehr in Berührung kommen kann, die obere Contactschraube f so einstellt, dass die Feder F der Spitze l eben anliegt;

[1]) Siehe darüber Engelmann und Place, Onderzoek. physiol. labor. Utrecht (2), I, p. 277. 168. — Zahn, Pflüger's Archiv, Bd. I.

2. das Spiel des Hammers und der Helmholtz'schen Vorrichtung, wenn man die Pole ebenso wie sub 1 anschraubt, ausserdem noch die Polschraube e mit a durch einen Draht verbindet, nun die obere Contactschraube f so weit in die Höhe schraubt, dass die Feder F nicht mehr an die Spitze l anstossen kann, und die untere Contactschraube g so stellt, dass die Feder ihrer Spitze gerade anliegt, wenn der Hammer gegen den Elektromagneten gedrückt ist.

Man stelle nun mit beiden Versuchsanordnungen Versuche in der beschriebenen Weise an Muskel- und Nervmuskelpräparaten an. Die Reizung wird vorgenommen durch Oeffnen des Du Bois-Reymond'schen Schlüssels, der im secundären Kreis als Nebenleitung eingeschaltet ist: sie bewirkt in diesen Fällen dauernde Verkürzung des Muskels, den sogenannten **Tetanus**, der so lange anhält, als die Reizung dauert.

Andere Apparate, die zur Unterbrechung des primären Stromes dienen, sind:

1. **Bernstein's acustischer Stromunterbrecher und Kronecker's Interruptor** (Fig. 26).

Diese sind nach demselben Princip gebaut, wie der Wagnersche Hammer, und dienen denselben Zwecken. Sie gestatten es

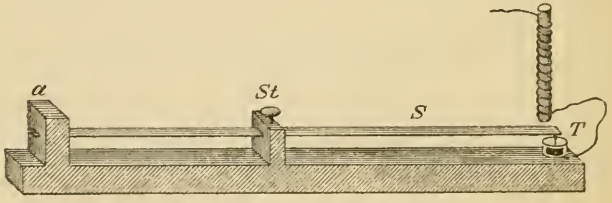


Fig. 26.

indess leicht, die Schnelligkeit, mit der die Schliessungen und Oeffnungen auf einander folgen, zu variiren. Das Princip dieser Apparate wird durch die schematische Fig. 26 veranschaulicht. Die Unterbrechungen werden erhalten durch die Schwingungen einer Stahlfeder S; an dieser ist eine Platinspitze T befestigt, die jedesmal, wenn die Feder hin und her schwingt, in einen Quecksilbernapf ein- und austaucht. Die freie Oberfläche des Quecksilbers ist mit Alkohol bedeckt, wodurch die Verunreinigung der Quecksilberfläche mit dem entstehenden Quecksilberoxyd verhindert wird [1]).

[1]) Kronecker giebt ferner einen solchen Spülcontact an, bei dem das

Die Länge des schwingenden Theils der Feder und damit die Schwingungszahl kann variirt werden durch einen Steg St, der an der Feder entlang auf einer Schiene verschiebbar ist, und an dem die Feder festzuklemmen ist. Der Strom tritt bei a in die Feder ein, aus dem Quecksilbernapf aus und geht dann um einen Elektromagneten, durch den die Schwingungen der Feder unterhalten werden in derselben Weise, wie es beim Wagner'schen Hammer geschieht.

Bei Bernstein's acustischem Stromunterbrecher (s. Bernstein, Untersuchungen über den Erregungsvorgang im Nerven- und Muskelsysteme, Heidelberg 1871) ist die Feder nicht an ihrem einen Ende fest, sondern wird nur durch den verstellbaren Steg festgeklemmt gehalten. Der Apparat hat seinen Namen daher, dass aus dem Ton, den die Feder bei ihrer Schwingung liefert, die Schwingungszahl und damit die Zahl der Unterbrechungen leicht zu bestimmen ist.

Kronecker (Zeitschrift für Instrumentenkunde, Bd. IX, 1889) hat Bernstein's Apparat so modificirt:

1. Das eine Ende der Feder (a, Fig. 26) ist fest, dadurch ist die Verschiebung des Stegs erleichtert.

2. Der Elektromagnet besteht aus zwei Eisenstäben; die beiden der Feder zugewendeten Polenden stehen so, dass die Feder zwischen ihnen hindurch schwingen kann, so dass die Schwingungen nicht durch das Anschlagen der Feder am Magnet gestört werden können.

3. Am beweglichen Ende der Feder sind ausser der Platinspitze für den Contact, in dem der zur Bewegung der Feder dienende Strom geschlossen und geöffnet wird, noch zwei durch ein Messingstück verbundene, von der Feder isolirte Platinspitzen angebracht, die zur Schliessung und Oeffnung eines anderen, vom ersten ganz getrennten Stromes zu benutzen sind. Es ist also so der Strom, der direct oder mittelst der von ihm erzeugten Inductionsströme zur Reizung verwendet werden soll, getrennt von demjenigen, der die Feder in Gang hält. Das ist für manche Versuchszwecke von Vortheil.

Quecksilber in einer Capillarröhre eingeschlossen ist und der Alkohol durch eine Spülvorrichtung beständig erneuert wird (Festschrift für C. Ludwig, Leipzig 1874. Zeitschrift für Instrumentenkunde, Bd. IX).

2. Pendelunterbrecher von Helmholtz.

Statt der Feder des Wagner'schen Hammers wird ein kleines Pendel zur Unterbrechung benutzt. Dasselbe besteht aus einem Messingstäbchen, das an seinem oberen Ende beweglich aufgehangen ist, an seinem unteren Ende den eisernen Anker trägt; durch einen dem Anker gegenüberstehenden, in den Stromkreis eingeschalteten Elektromagneten wird das Pendel in Schwingungen erhalten. Dadurch wird ein federndes Platinplättchen, das an dem Pendel befestigt ist, von einem Contactstift abgehoben resp. ihm angedrückt und der primäre Strom geöffnet resp. geschlossen. Der Contactstift kann durch eine Schraube verstellt werden; je näher er dem Pendel steht, desto mehr wird die Schwingung desselben verkürzt, desto mehr Unterbrechungen finden in der Zeiteinheit statt.

Solche Contacte befinden sich an dem Apparate zwei, auf jeder Seite des Pendels eine; die eine dient zum Unterbrechen des primären Stromes, die andere dagegen wird zum Schliessen resp. Oeffnen einer Nebenleitung benutzt in derselben Weise, wie die Helmholtz'sche Vorrichtung am Du Bois-Reymond'schen Schlitteninductorium.

Durch eine besondere Vorrichtung am oberen Ende des Pendels kann der Schwerpunkt desselben verlegt und damit die Schwingung verändert werden.

Wenn der acustische Stromunterbrecher von Bernstein oder der Interruptor von Kronecker oder der Unterbrechungsapparat von Helmholtz benutzt werden sollen, so schaltet man sie ein in eine Leitung, die von den Polschrauben a und b (Fig. 23) des Du Bois-Reymond'schen Schlittens zur Batterie führt.

Andere Apparate zur Erzeugung von Inductionsströmen für Nerv- und Muskelreizung siehe unter anderem noch in folgenden Abhandlungen:

Hering, E., Wiener Sitzungsberichte, Bd. 89. 3. Abth., 1884. (Die secundäre Spirale eines Inductionsapparats wird um eine verticale Axe vor der primären von einem gleichmässigen Strome durchsetzten gedreht.)

v. Kries, Berichte der Verhandl. der naturforsch. Gesellschaft zu Freiburg i. B., Bd. 8. (Zwischen einer Spirale und einem Magneten rotirt ein gezahntes Eisenrad.)

Aehnlich ist eine von Kohnstamm (Du Bois-Reymond's Archiv 1893, S. 126) beschriebene Vorrichtung.

Grützner, P., Ueber die Reizwirkungen der Stöhrer'schen Maschine auf Nerv und Muskel. Pflüger's Archiv für Physiol., Bd. 41, S. 256.

Engelmann, Das rhythmische Polyrheotom. Pflüger's Archiv, Bd. 52.

Kronecker und Stirling, Die Genesis des Tetanus. Du Bois-Reymond's Archiv für Physiol. 1878, S. 1. (Das „Toninductorium" von Kronecker dient zur Erzeugung sehr grosser Reizfrequenzen, bis zu 22000 Inductionswechselströme in einer Secunde.)

Bohr, C., Ueber den Einfluss der tetanisirenden Irritamente auf Form und Grösse der Tetanuscurve. Du Bois-Reymond's Archiv 1882, S. 233. (Der Schlagwähler dient zur Abblendung einzelner Schlagarten — so dass

entweder nur Oeffnungs- oder nur Schliessungsschläge dem Präparat zugeleitet werden; ferner zur Variirung der Reizstärke bei gleichbleibendem Intervall, oder zur Variirung des Intervalls bei gleichbleibender Stärke.) Ein anderer Schlagwähler ist beschrieben bei Hüfler, Du Bois-Reymond's Archiv 1889, S. 295.

V. Kapitel.

Reizung von Nerv und Muskel mit Condensatorentladung.

Jüngst ist wieder auf eine Art der Erregung aufmerksam gemacht worden, die von Interesse ist, weil bei ihr die Reizgrösse, insbesondere auch die durch den Reiz geleistete Arbeit leicht sehr genau bestimmt werden kann. Deshalb soll das Princip der Methode hier aus einander gesetzt werden. Näheres darüber siehe in folgenden Abhandlungen:

Hoorweg, J. L., Ueber elektrische Nervenerregung. Pflüger's Archiv, Bd. 52, S. 87; Bd. 53, S. 587; Bd. 57, S. 427.

Cybulski, N. und Zanietowski, J., Ueber die Anwendung des Condensators zur Reizung der Nerven und Muskeln statt des Schlittenapparates von Du Bois-Reymond. Pflüger's Archiv, Bd. 56, S. 45.

Condensator.

Der **Condensator** ist ein Apparat, der zum Sammeln der Elektricität dient. Die bekannteste Form des Condensators ist die Leidener Flasche. Wir verwenden hier eine andere Form, nämlich Stanniolblätter, zwischen denen sich dünne isolirende Schichten befinden (Paraffinpapier[1]), Glimmerplatten). Das 1., 3., 5. etc. Stanniolblatt werden mit einem Leitungsdraht verbunden, das 2., 4., 6. etc. mit dem anderen (siehe das Schema in Fig. 27, in der übrigens die isolirenden Schichten im Vergleich mit den Stanniolblättern zu dick gezeichnet sind). Einen solchen Condensator kann man sich leicht selbst anfertigen. Der Condensator wird ebenso wie die Leidener Flasche geladen. In dem Versuche, den wir anstellen wollen, geschieht die Ladung mit drei Daniell'schen Elementen. Entladet man den Condensator nun durch einen Entladekreis, in dem das Präparat eingeschaltet ist, so wird dasselbe gereizt.

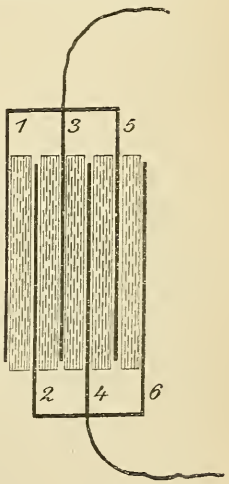


Fig. 27.

[1]) Vor der Verwendung von Condensatoren mit Paraffinpapieren warnt freilich Hoorweg (a. a. O.), weil bei ihnen die Staniolblätter nicht hinlänglich von einander isolirt sind.

Versuchsanordnung.

Apparate. Ausser dem Condensator sind nöthig: drei kleine Daniell'sche Elemente, ein einfacher Rheochord, eine Wippe ohne Kreuz.

Die drei Elemente (E, Fig. 28) sind verbunden mit den Enden des Rheochorddrahtes. Die Näpfe 1 und 2 der Wippe sind verbunden mit dem Condensator C, 3 und 4 mit einem Ende a des Rheochorddrahtes und dem Schieber S, 5 und 6 mit den Reizelektroden, über die der Nerv des Präparats hinübergelegt ist. Der Strom geht von der Batterie durch den Rheochorddraht hindurch zur Batterie zurück. Von diesem Stromkreis gehen in a und S zwei Drähte ab, und zwar, wenn die Näpfe 3 und 4 mit 1 und 2

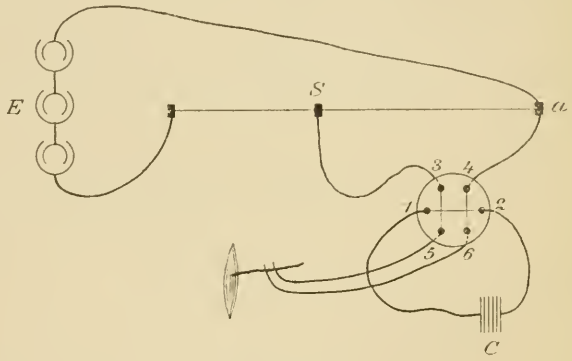


Fig. 28.

verbunden sind, zum Condensator. Der Condensator wird in Folge dessen geladen, und zwar um so stärker, je grösser die Spannungsdifferenz zwischen a und S ist. Diese Spannungsdifferenz ist aber um so grösser, je weiter S von a entfernt ist. Bei verschiedenen Stellungen des Schiebers S erhält man also verschieden starke Ladungen des Condensators. Legt man nun die Wippe um, so dass der Condensator in Verbindung kommt mit der Leitung zu den Elektroden, so entlädt er sich, die Entladung geht durch den Nerven und reizt denselben. Die Stärke der Erregung hängt von der Ladung des Condensators ab.

Ueber die Bestimmung der Reizgrösse siehe die citirten Abhandlungen. Das Princip ist kurz folgendes:

Unter Capacität des Condensators versteht man diejenige Menge Elektricität, die er aufnimmt, wenn seine Spannung sich um 1 Volt

erhöht. Da die Einheit der Capacität der „Farad", die Einheit der Elektricitätsmenge der „Coulomb" ist, so ist:

$$1 \text{ Coulomb} = 1 \text{ Farad} \times 1 \text{ Volt}$$

und die aufgenommene Elektricitätsmenge Q eines Condensators:

$$Q = C \cdot E,$$

worin C die Capacität, E die Spannung angiebt. Man kann also die vom Condensator aufgenommene Elektricitätsmenge berechnen, wenn man die Spannung und die Capacität kennt. Erstere ist leicht zu bestimmen, letztere ist an den käuflichen Condensatoren in der Regel angegeben. Aus der Capacität und Spannung lässt sich nun ferner die Energie der Entladung berechnen — sie ist: $\frac{1}{2} E^2 . C$ — ferner auch die Entladungszeit, wenn noch der Widerstand der Leitung, durch den die Ladung erfolgt (in unserem Falle die Leitung durchs Präparat), bekannt ist. Siehe darüber, sowie über die Abhängigkeit der Erregung von der Capacität und Ladung der Condensatoren die citirten Abhandlungen.

Eine Combination von Inductionsapparat und Condensator zu physiologischen Zwecken ist beschrieben bei Tiegel in Pflüger's Archiv, Bd. 17, S. 330.

VI. Kapitel.

Volumen des Muskels bei der Thätigkeit.

Literatur bei Ewald in Pflüger's Archiv für die ges. Physiol., Bd. 45, S. 218.

In ein kleines Glasfläschchen (ähnlich den zur Bestimmung des specifischen Gewichts benutzten, als Pyknometer bezeichneten Fläschchen) werden dicht über dem Boden zwei Platindrähte eingeschmolzen, so dass sie sich diametral gegenüberstehen (p p, Fig. 29). Sie reichen einige Millimeter weit in das Fläschchen hinein und sind darin noch etwas gebogen. Aussen bilden sie kleine Oesen, in die man leicht die Leitungsdrähte einhängen kann, die zu einem Reizinductorium führen (Anordnung des Reizapparats wie in dem Versuche S. 48). Der eingeschliffene Glasstopfen des Fläschchens ist hohl und endigt in einer kurzen dickwandigen Steigröhre, die zu einer Röhre mit sehr engem Lumen, einer Capillare C, ausgezogen ist.

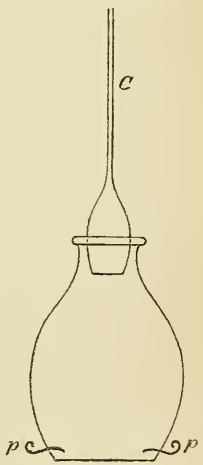


Fig. 29.

Der Frosch wird unter ausgekochter 0,7 procentiger Kochsalzlösung getödtet und präparirt. Der Muskel (Doppelsemimembranosus und -gracilis) wird in das, auch mit ausgekochter Kochsalzlösung gefüllte Fläschchen gebracht, wo er zu Boden fällt und zwischen den Elektroden zu liegen kommt. Das Fläschchen wird dann bis über den Rand gefüllt. Nun zieht man über die weite Oeffnung des Glasstopfens ein Stück Gummischlauch und saugt an diesem, während die Oeffnung der Capillare unter ausgekochter Kochsalzlösung gehalten wird, letztere und die Höhlung des Stopfens so weit voll, bis man mit einer Pipette den Rest bequem nachfüllen kann. Der ganz gefüllte Stopfen wird in das Fläschchen eingesetzt. Wenn es sich nicht vermeiden lassen kann, dass beim Umdrehen des Stopfens zwecks Einsetzen in die Flasche Luftblasen eindringen, dann bedeckt man den gefüllten Stopfen erst mit einem Scheibchen Papier, das man dann fortzieht, wenn er sich über der Flaschenöffnung befindet. Oder man setzt den Stopfen auf, während man Flasche und Stopfen ganz unter ausgekochter Salzlösung hält. Man trocknet die Flüssigkeit, die das Fläschchen und Röhrchen aussen benetzt, danach mit Fliesspapier gut ab.

Das Niveau der Flüssigkeit befindet sich nun am äussersten Ende der Capillare. Bevor der Versuch beginnt, muss es in einen mittleren Theil derselben gebracht werden. Es geschieht das so: Man träufelt einige Tropfen Aether auf die Wandungen des Fläschchens. Wenn der Aether verdunstet, kühlt sich das Glas ab und zieht sich zusammen. Dadurch wird Flüssigkeit ausgedrückt, das Niveau steigt so stark, dass ein kleines Flüssigkeitsquantum aus der Capillare herausläuft und mit Fliesspapier aufgesogen werden kann. Wenn sich unmittelbar darauf das Glas des Fläschchens wieder ausdehnt, so steht nun das Niveau in einem für die Beobachtung günstigen Abschnitt der Capillare. Das Fläschchen wird nun auf ein Stativ vor ein in horizontaler Lage aufgestelltes Mikroskop gestellt und bei mässiger Vergrösserung mit Mikrometerocular das Niveau beobachtet. Das Niveau muss vor Beginn des Versuches zur Ruhe gekommen sein oder darf sich nur so langsam bewegen, dass die Beobachtung dadurch nicht gestört wird. Reizt man nun den Muskel, so nimmt man keine Schwankung des Niveaus wahr, also ändert sich das Volum des Muskels nicht.

Statt des Gläschens mit eingeschliffenem Glasstopfen und eingekitteten Elektroden kann man auch ein solches mit Korkpfropfen nehmen, der in den Bohrungen die Capillare und die Drähte trägt,

muss aber hier noch Folgendes beachten: Der Stopfen muss aus bestem Kork sein. In der Mitte hat er eine Bohrung für die Steigröhre mit Capillare. Die Drähte, die zum Präparat führen, werden in enge Glasröhren eingekittet und diese in eine zweite und dritte Bohrung des Pfropfens gesteckt. Das Fläschchen wird mit ausgekochter Salzlösung gefüllt, die Flasche und der Korkpfropfen mit der gefüllten Röhre unter Salzlösung gebracht und mit einem Pinsel die kleinen Luftbläschen, die leicht in den Poren und kleinen Vertiefungen des Korks sitzen bleiben, entfernt. Das Präparat, das, wie vorhin beschrieben, hergestellt worden ist, wird nun ebenfalls unter die Salzlösung gebracht, die Drahtenden um seine Enden gewickelt und nun in die Flasche gebracht und der Pfropfen aufgesetzt. Der Pfropfen wird noch besonders befestigt auf der Flasche durch einen Messingdraht, der oben unter dem Rande der Flasche herumgelegt wird, und von dem zwei Drahtbügel ausgehen, die sich rechtwinklig über dem Pfropfen kreuzen. Die Bügel bilden an einer Stelle Oesen, und durch weiteres Umdrehen derselben und dadurch bedingtes Aufwickeln des Drahtes um sich selbst werden die Bügel gegen den Pfropfen und dieser in den Cylinder gepresst. Das verdrängte Wasser fliesst dabei aus der Steigröhre heraus. Diese Vorsichtsmassregel ist deshalb nöthig, weil nach den Beobachtungen Ewald's die Erschütterung, die dem Pfropfen bei Contraction ertheilt werden kann, bewirkt, dass der Pfropfen wieder etwas aus der Flasche herausgleitet, wenn er nicht fest genug sitzt. Dadurch könnte eine Volumverminderung vorgetäuscht werden. Um sich davor noch ganz sicher zu hüten, stellt man den so hergerichteten Apparat vor dem Versuche auf den Tisch und erschüttert ihn durch mehrere Schläge mit der Faust auf den Tisch, so dass der Pfropfen so weit herausgleitet, dass ein weiteres Abgleiten nun nicht mehr stattfindet. Der Versuch wird nun in derselben Weise, wie der zuerst beschriebene, angestellt.

VII. Kapitel.

Myographische Methodik.

Bisher haben wir in unseren Versuchen am Muskel nur festgestellt, ob er sich verkürzt oder nicht. Die Grösse der Verkürzung und ihr zeitlicher Verlauf wurde nicht bestimmt, höchstens in einigen Versuchen geschätzt. Wir wollen die genaue Bestimmung jetzt mit Hilfe der myographischen Methode machen, bei der der Muskel seine Bewegung selbst genau aufzeichnet.

Die graphische Methode wird nicht nur zur Untersuchung der Muskelcontraction, sondern auch vieler anderer physiologischer Vorgänge benutzt und ist eins der wichtigsten Forschungsmittel der Physiologie. Zum eingehenden Studium derselben ist zu empfehlen:
Langendorff, O., Physiologische Graphik, Leipzig und Wien bei F. Deuticke, 1891.

Die Aufzeichnung der Muskelzusammenziehung erfordert zwei Apparate:

1. **Schreibspitze, Schreibhebel,** ein mit dem Muskel verknüpfter beweglicher Körper, der die Bewegungen des Muskels möglichst genau mitmacht.

2. Eine Fläche, auf der die Schreibspitze eine sichtbare Spur hinterlässt: **Schreibfläche.**

1. Die Schreibhebel.

Sie sind verschieden, je nachdem man die Längenänderung, die Verdickung, die Spannungsänderung oder die Arbeitsleistung des Muskels registriren will.

Registrirung der Längenänderung.

1. **Verfahren von Fick.** Der Zeichenhebel muss so beschaffen sein, dass er der Verkürzung des Muskels ganz genau folgt, und nicht durch die Zusammenziehung in ganz freien Schwung geräth, und dann sich unabhängig vom freien Muskelende bewegt.

Dies erreicht man dadurch, dass man seine Masse möglichst gering macht. Man stellt ihn her aus einem Strohhalm oder aus zusammengeleimten und auf die hohe Kante gestellten Schilf-

streifchen (H, Fig. 30), die mit dem einen Ende an einer Stahlaxe a befestigt sind, während das andere Ende die feine, schwach federnde Zeichenspitze Sp, aus Schilf oder leichtem Metall, z. B. Aluminium, trägt, die der Schreibfläche angelehnt wird. Der Muskel ist mit seinem frei beweglichen unteren Ende in irgend einer Weise, durch einen Faden oder durch ein Metallhäkchen oder dergl. verknüpft mit einem Punkte des Hebels P, dem sogenannten Angriffspunkt, dessen Entfernung von der Axe man nach Wunsch beliebig wählen kann. Die Spitze giebt die Bewegung des Muskels vergrössert wieder. Der Grad der Vergrösserung ist um so grösser, je näher der Angriffspunkt der Hebelaxe gelegt wird. Das obere Ende des Muskels ist unbeweglich festgestellt durch eine an die

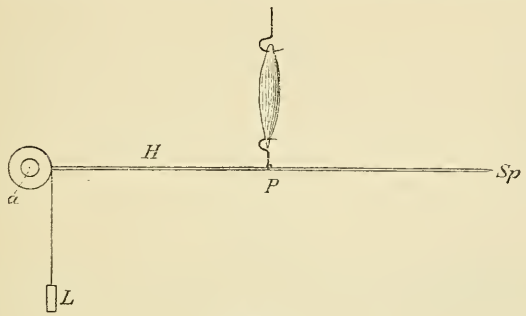


Fig. 30.

unbeweglichen Theile des Apparats befestigte Schraube mit Haken oder Klemme. Die Schreibfläche wird nicht senkrecht zur Hebelrichtung gestellt, sondern steht ihr nahezu parallel.

Die Schreibspitze zeichnet jetzt, wenn der Hebel gehoben wird, an die ruhende Zeichenfläche nicht eine senkrechte Gerade, sondern einen Kreisbogen. Das ist aber ein kaum nennenswerther Nachtheil, da das in Betracht kommende Bogenstück nur wenig von der senkrechten Geraden abweicht, wenn nur der Muskel so weit von der Axe am Hebel angreift, dass die zu erwartende Verkürzung des Muskels ein kleiner Bruchtheil von jener Entfernung ist. Die Grösse der durch die Zeichnung dargestellten Verkürzung verhält sich zur wirklichen Verkürzung des Muskels wie die Entfernung des Angriffspunktes des Muskels von der Axe zur ganzen Länge des Zeichenhebels.

Wenn es wünschenswerth ist, die Entstellung, die die Zeichnungen durch die bogenförmige Bewegung der Schreibspitze erleiden, zu beseitigen, so geschieht das durch eine Correctur, die in folgender Weise vorgenommen wird:

Es sei c_1 (Fig. 31) die bei gleichmässig bewegter Schreibfläche erhaltene Curve. Bei feststehender Schreibfläche lassen wir nun die Schreibspitze von irgend einem Punkt aus, etwa p, eine Linie zeichnen; es sei dies der Kreisbogen S_1. Von demselben Punkte p aus errichten wir ferner eine Senkrechte, S_2, auf der Nulllinie. Die Linie S_2 würde also statt S_1 vom Schreibhebel gezeichnet worden sein, wenn die Zeichenspitze senkrecht gehoben würde. Für jeden Punkt von S_1 können wir den entsprechenden Punkt in S_2 finden, wenn wir von ihm eine horizontale Gerade bis nach S_2 hinziehen. So entspricht dem Punkt a_1 der Punkt a_2, dem Punkt b_1 der Punkt b_2. Für einen Punkt der Curve c_1 finden wir den entsprechenden Punkt der corrigirten Curve, wenn wir auf einer horizontalen Geraden von ihm aus nach links das Stück abtragen, um das der in gleicher Höhe befindliche Punkt der Linie S_1 von dem entsprechenden Punkt in S_2 entfernt ist. So liegt z. B. d_1 in gleicher Höhe wie a_1. Wir tragen, von d_1 ausgehend, auf der Horizontalen das Stück $a_1 a_2$

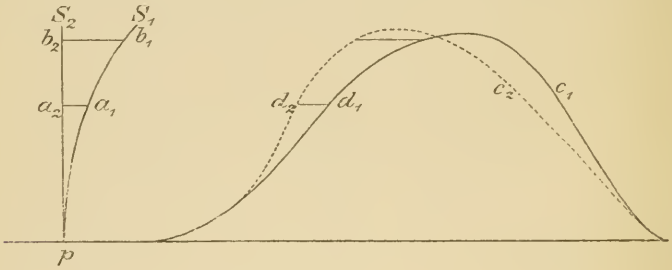


Fig. 31.

nach links ab und kommen zu d_2, dem Punkte der corrigirten Curve, der dem Punkte d_1 der uncorrigirten entspricht. Geschieht das für eine grosse Zahl von Punkten der Curve c_1 und verbindet man die so erhaltenen Punkte durch eine Curve, die in der Figur punktirte Curve c_2, so ist diese die corrigirte Curve.

Der Muskel wird gespannt durch ein an den Schreibhebel angehängtes Gewicht. Man darf dies aber nicht senkrecht unter dem Angriffspunkt des Muskels anhängen, weil es dann bei der Contraction in zu rasche Bewegung kommen kann, und daher vielleicht zeitweise den Muskel nicht mit seinem vollen Betrage spannt. Man bringt das Gewicht deshalb so an, dass seine Masse möglichst wenig in Schwung kommt. Dies erreicht man, wenn man das spannende Gewicht an einen Faden hängt, der um die stählerne cylindrische Axe des Zeichenhebels geschlungen ist, oder um eine an der Axe befestigte Rolle von kleinem Radius. Dann wird von dem Faden bei den grössten Excursionen des Hebels nur so wenig aufgewickelt, dass das Gewicht kaum merklich steigt und also selbst bei den raschesten Zusammenziehungen keine erhebliche Geschwindigkeit erlangt. Die Spannung des Muskels ist dann aber nicht gleich dem angehängten Gewicht, sondern verhält sich zu ihm wie der Halbmesser der Axe resp. Rolle zur Entfernung des Muskelangriffspunktes von der Axe.

2. Verfahren von Grützner[1]). Statt des Gewichts kann man auch die Elasticität einer Feder zum Spannen verwenden. Um hier die Spannung constant zu halten, hat Grützner folgende Vorrichtung getroffen:

An dem Schreibhebel (H, Fig. 32) ist in dem Punkte a ein Kautschukband B befestigt; dessen anderes Ende ist angeheftet an eine feststehende Rolle R, die sich schräg unter der Axe A des Hebels befindet. Das Kautschukband ist gespannt und ertheilt seine Spannung dem Muskel. Wenn der Muskel, der mit dem Faden M verknüpft wird, nun den Schreibhebel nach oben zieht,

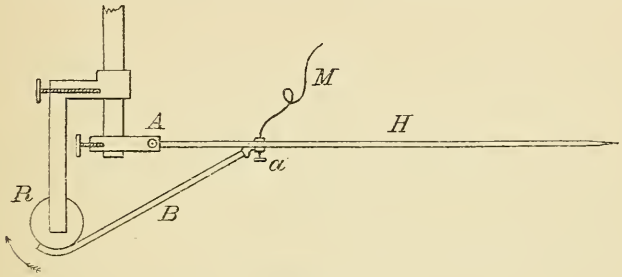


Fig. 32.

so wird zwar die Spannung des Kautschukbandes stärker, zugleich nimmt aber die Linie, die von A senkrecht auf B gezogen ist, das ist der Hebelarm der Last, ab. Durch passende Wahl des Punktes a, der Entfernung der Rolle R von der Axe A und der Spannung des Bandes kann man es erreichen, dass der Hebelarm um den entsprechenden Betrag ab-, wie die Spannung zunimmt, so dass das statische Moment, das ist das Product aus Hebelarm und Spannung, bei Veränderung der Stellung des Hebels H dasselbe bleibt. Dann behält der Muskel während seiner Verkürzung immer dieselbe Spannung.

Da bei den beiden beschriebenen Verfahren zur Registrirung der Längenänderung die Spannung des Muskels sich nicht ändert, so werden sie nach einer von Fick eingeführten Bezeichnung „isotonische Verfahren“ genannt.

Registrirung der Verdickung.

Man legt den Muskel auf eine feste Unterlage (Glasplatte) auf und entweder an irgend einer Stelle den Zeichenhebel nahe

[1]) Pflüger's Archiv für die ges. Physiol., Bd. 41.

seiner Axe quer darüber, oder auf ihn einen Bügel B (Fig. 33), der mit dem darunter befindlichen Zeichenhebel durch einen Faden

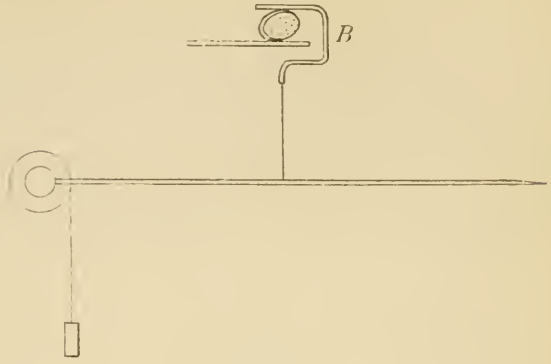


Fig. 33.

verknüpft ist. Der Zeichenhebel ist gerade so beschaffen, wie bei der Registrirung der Längenänderung.

Registrirung der Spannungsänderung.

Man kann die beiden Enden des Muskels so feststellen, dass sie bei der Thätigkeit sich nicht einander nähern können; dann ändert der Muskel nicht seine Länge, wohl aber tritt Spannungsänderung auf. Das Verfahren wird das „isometrische" genannt.

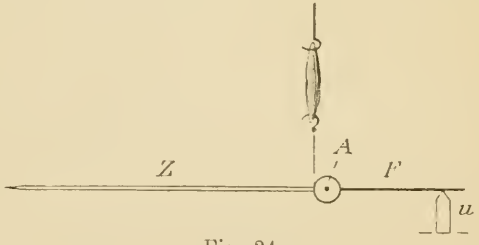


Fig. 34.

Die Spannungsänderung wird registrirt mit dem von Fick angegebenen Spannungszeichner.

Das eine Ende des Muskels ist fest, das andere zieht an einem undehnbaren Faden, der um eine Stahlaxe (A, Fig. 34) geschlungen ist. Die Axe trägt ausserdem 1. einen ganz leichten aber steifen Schilfhebel, den Zeichenhebel Z, und 2. eine horizontal von der Axe abgehende Stahlfeder F, die mit ihrem freien Ende einer

Unterlage u aufliegt. Wird der Faden durch den Muskel angezogen und dadurch die Axe gedreht, so wird die Feder gegen ihre Unterlage gedrückt und gespannt. In Folge der entgegengesetzten Spannung der Feder kann sich die Axe nur um einen sehr kleinen Betrag drehen, der aber stark vergrössert zum Ausdruck kommt in der Bewegung der Spitze des Schilfhebels.

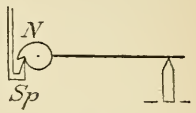


Fig. 35.

Statt des Fadens kann man zur Verbindung von Muskelende und Axe auch ein unausdehnbares Stahlstück nehmen, das mit einer Spitze Sp (Fig. 35) an einer seitlich an der Axe angebrachten Nase N angreift.

Die Stahlfeder kann man auch durch einen Glasstreifen ersetzen oder durch ein Gummiband, das mit einem Querfortsatz der Axe so verbunden ist, dass es sich bei Bewegung des Muskelendes spannt.

Uebrigens giebt der Spannungszeichner, dessen Axe in einer Stahlaxe mit seitlichem Spitzenlager besteht, bei grossen Spannungen häufig ungetreue Zeichnungen, weil die Bewegungsfähigkeit der Axe durch Reibung gehemmt wird. Dieser Uebelstand wird vermieden durch folgende von Schönlein angegebene Vorrichtung.

Die Spitzen s (in Fig. 36 von vorne, in Fig. 37 von der Seite gesehen), in denen sich der Spannungszeichner dreht, gehen von

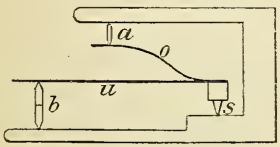


Fig. 36.

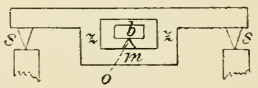


Fig. 37.

den Enden des die Axe darstellenden Querbalkens nach unten ab und stehen in Lagern, ähnlich wie die Schneide eines Wagebalkens. Um die Axe zu fixiren, sind zwei Federn an dem Spannungszeichner angebracht (o und u in Fig. 36). Beide gehen horizontal von der Axe ab, die obere o biegt sich etwas nach oben und lehnt nach oben gegen ein Widerlager an, die andere nach unten. Wenn der Zeichner in Ruhe ist, sind beide Federn etwas gespannt und zwar gegen einander gedrückt. Wenn durch Drehen der Axe die eine Feder gespannt wird, wird die andere entspannt und umgekehrt. Uebrigens legt man die Federn ihren Widerlagern am besten auch

nicht direct an, sondern um Reibung möglichst zu vermeiden, bringt man zwischen Feder und Widerlager kleine, senkrecht stehende Stifte a und b an, deren spitze Enden in Dellen einerseits der Feder, anderseits des Widerlagers stehen, so dass auch hier die Bewegung in Spitzen vor sich geht. Um ein seitliches Ausbiegen der Federn zu verhindern, nimmt man statt eines Stiftes zwischen der unteren Feder und deren Widerlager ein ⊓-förmiges Stück b (in Fig. 36 von der Seite gesehen), das auch mit Spitzen an seinen Enden versehen ist, die in Dellen stehen. Das Widerlager hat demnach zwei Dellen für die beiden unteren Spitzen des ⊓ Stückes. Durch Einstellung des ⊓ Stückes in verschiedener Entfernung von der Axe kann man die Kraft der Feder bei gleicher Drehung der Axe variiren.

Bei diesem Spannungszeichner verbindet man das obere Muskelende mit der Axe. Die Verbindung wird durch folgende Vorrichtung hergestellt: Schräg nach derselben Richtung wie die Feder, und nach unten gehen von dem Querbalken der Axe zwei kurze Zapfen ab, z (in Fig. 37 von vorne, in Fig. 38 von der Seite gesehen). Die unteren Enden der Zapfen sind verbunden durch ein Mittelstück m (Fig. 37), und von diesem Mittelstück, zwischen den Zapfen, geht eine Spitze o nach oben. Diese Spitze, an der der Muskel durch das gleich zu beschreibende Verbindungsstück angreift, liegt also etwas seitwärts von der Drehungsaxe. Zwischen den Zapfen und auf der Spitze lagernd ist der Bügel b (Fig. 37 und 38), dessen Enden zwei nach unten convergirende und unter dem Mittelstück sich verbindende Stahlstäbe st tragen. Damit ist nun das obere Muskelende (wie Fig. 38 zeigt) in Verbindung gebracht.

Fig. 38.

Der eigentliche Zeichner besteht in einem langen, leichten Schilfhalme, der horizontal von dem Querbalken der Axe abgeht.

Aus den mit diesen Apparaten zu erhaltenden Spannungscurven, den sogenannten Tonogrammen, geht noch nicht ohne Weiteres hervor, wie gross die absoluten Spannungen sind, die der Muskel hatte. Um diese berechnen zu können, muss man sich für den Spannungszeichner eine Skala herstellen, aus der entnommen werden kann, wie viel Gramm Spannung 1 mm Ordinatenhöhe des Tonogramms entspricht. Das geschieht so: Man lässt den Spannungszeichner zuerst eine Horizontale auf der Zeichen-

fläche bei der Spannung 0 zeichnen. Nun ertheilt man der Feder eine bestimmte Spannung, beispielsweise eine solche von 25 g und zeichnet bei der neuen Stellung des Zeichners wieder eine Horizontale, dasselbe geschieht für eine Reihe anderer Spannungen, z. B. 50 g, 75 g, 100 g etc. Man erhält so eine Serie von parallelen Linien, deren senkrechte Entfernung von einander jeweils 25 g Spannung entspricht. Daraus lässt sich dann die Spannung für 1 mm Ordinate berechnen. Zu beachten ist dabei, dass nicht nothwendiger Weise für ein und dieselbe Spannungszunahme die Zunahme der Ordinate auch immer dieselbe sein muss, einerlei von welcher Stellung des Zeichners man bei der Spannungszunahme ausgeht. So könnte z. B. bei der Spannungszunahme von 0 g auf 25 g eine grössere Linie gezeichnet werden, als bei der von 100 auf 125 g. Ob das der Fall ist oder nicht, ergiebt sich aus der erhaltenen Skala. Natürlich sind solche ungleiche Zunahmen der Ordinatenhöhen bei gleichen Zunahmen der Spannungen bei Ausmessung der Tonogramme zu berücksichtigen.

Bei der Herstellung der Skala geschieht die Spannung der Feder durch Belastung mit Gewichten. Das ist bei dem zuletzt beschriebenen Apparat so zu machen, dass man die Gewichte mittelst Faden anhängt an den Punkt, an dem der Muskel zu ziehen hat. Anders bei den Zeichnern, bei denen der Zug nach oben hin ausgeübt werden muss. Hier überträgt man am einfachsten den nach unten wirkenden Zug des Gewichts durch eine Rolle, über die ein Faden läuft, nach oben, so dass er auf den Spannungszeichner wirken kann.

Registrirung der Arbeitsleistung.

Die Arbeit ist gleich dem Producte aus dem gehobenen Gewicht und der Hubhöhe. Eine Registrirung der Arbeitsleistung ist demnach schon in der isotonischen Zeichnung enthalten, weil aus ihr die Höhe, bis zu welcher das den Muskel spannende Gewicht gehoben wird, zu entnehmen ist. Diese Art der Registrirung der Arbeitsleistung ist aber für manche Fälle unvortheilhaft, erstens weil der Muskel das zu hebende Gewicht von vornherein ganz tragen, also bei Hebung grosser Gewichte sehr stark gedehnt sein muss — starke Dehnung wirkt aber leicht schädigend auf den Muskel —. und zweitens, weil diese Art der Arbeitsleistung des Muskels nicht die natürliche ist. Bei den natürlichen Arbeitsleistungen erleidet der Muskel fast immer Spannungsänderungen und sehr häufig leistet er die Arbeit durch Schleudern von Massen.

Um den Muskel nicht zu stark zu spannen und um die natürlichen Bedingungen der Arbeitsleistung beim Experiment möglichst nachzuahmen, lässt man den Muskel sogenannte Schleuder- oder Schwunghebel bewegen, deren Bewegungen graphisch registrirt werden. Es sind das prismatische Metallhebel, deren Drehungsaxe durch den Schwerpunkt geht, die also äquilibrirt sind. Die Masse der Hebel lässt sich noch beliebig vermehren dadurch, dass man auf beiden Seiten und gleich weit von der Axe entfernt, beliebig grosse, aber beiderseits gleiche Gewichte anhängt. Der Muskel, der mit einem solchen Hebel in Verbindung steht, wird durch denselben gar nicht belastet, er kann aber an ihm erhebliche Arbeit leisten dadurch, dass er den Hebel schleudert, so dass der Hebel sich danach mit der erlangten lebendigen Kraft getrennt vom Muskel weiter bewegt. Der Schleuderhebel zeichnet durch eine an ihm angebrachte Zeichenspitze seine Bewegung auch auf die Schreibfläche auf. Die Art wie die geleistete Arbeit aus der Bewegung des Schleuderhebels berechnet wird, siehe VIII. Kapitel, 2. c.

Gleichzeitige Registrirung von Verkürzung, Spannungsänderung und Bewegung eines Schleuderhebels.

An ein und demselben Apparate können Längenzeichner und Spannungszeichner so angebracht werden, dass der Muskel mit dem oberen Ende am Spannungszeichner, mit dem unteren am Längenzeichner befestigt werden kann.

Solche Apparate sind angegeben worden von

Schönlein (beschrieben in Pflüger's Archiv f. d. ges. Physiol., Bd. 52, S. 112).
Blix, Skandinavisches Archiv f. Physiol., Bd. III, S. 295.
v. Kries, Du Bois-Reymond's Archiv f. Physiol. 1892, S. 1.

Lässt man das untere Ende frei, so verkürzt sich der Muskel isotonisch, wird das untere Ende durch eine geeignete Vorrichtung festgestellt, so bekommen wir Isometrie. Neben dem Längenzeichner, nach der Schreibfläche zu, kann nun auch noch ein Schleuderhebel angebracht werden, es ist das bei dem Schönlein'schen Apparate der Fall. Der Schleuderhebel trägt einen seitlichen Fortsatz, mit dem er dem Längenzeichner aufgelegt werden kann.

Wenn der Muskel bei dieser Stellung des Apparats sich contrahirt, bewegt er auch den Schleuderhebel mit und er ändert während dessen seine Spannung. Der Schleuderhebel bewegt sich

schliesslich mit der erlangten Geschwindigkeit allein weiter, er hebt sich vom Längenzeichner ab und danach wird der Längenzeichner allein vom Muskel weiter bewegt.

Die Apparate sind so eingerichtet, dass die zwei oder drei Schreibhebel auf dieselbe Schreibfläche zeichnen.

2. Die Schreibflächen.

Sie bestehen aus berusstem glatten Papier, das auf einer glatten Fläche (Glas- oder Metallplatte, Metallcylinder) so befestigt ist, dass es der Fläche glatt anliegt.

Feststehende Schreibfläche.

Glasplatte von einer den Versuchszwecken entsprechenden Grösse und Gestalt.

Auf eine feststehende Schreibfläche zeichnet die Schreibspitze eine Linie, die uns nur die Grösse der Bewegung, nicht ihren Verlauf in der Zeit angiebt. Damit in der Zeichnung der Verlauf zum Ausdruck kommt, muss die Schreibfläche an der Zeichenspitze vorbei bewegt werden.

Bewegte Schreibfläche.

Die Schreibfläche wird an der Spitze so vorbei geführt, dass ihre Bewegungsrichtung zu der der Spitze senkrecht steht.

Die bewegte Schreibfläche muss mit constanter Geschwindigkeit an der Schreibspitze vorbei geführt werden oder mit bekannter gleichmässiger Beschleunigung resp. Verzögerung.

Die gebräuchlichsten Apparate sind:

1. **Trommel, die durch ein fallendes Gewicht bewegt wird: Cylindermyographion von Fick** (Fig. 39). Ein schwerer Cylinder CC aus starkem Messingblech von 1 m Umfang steht auf einer stählernen Axe AA, die mit möglichst wenig Reibung in Spitzen läuft. Auf derselben Axe steckt unter dem Cylinder eine Rolle R von etwa 20 mm Halbmesser, um welche eine Schnur geschlungen ist. Das eine Ende derselben bildet einen Ring, welcher an einem aus dem Boden des Cylinders hervorragenden Stift angehängt ist, so dass er, sowie die Schnur ihre Spannung verliert, abfällt; das andere Ende der Schnur geht zunächst über eine am Stativ befestigte Rolle R_1 und trägt einen starken eisernen Bügel BB, an

welchem das als bewegende Kraft dienende Gewicht P hängt. Aus dem Boden des Cylinders ragt noch ein (in der Figur nicht gezeichneter) starker Zapfen hervor, der gegen einen (gleichfalls nicht gezeichneten) am Stativ befestigten Hebel anlehnt, wenn das Gewicht mittelst der Schnur den Cylinder zu drehen strebt. Der Zapfen und der Hebel müssen mit ebener Fläche, die durch die Axe des Cylinders geht, einander berühren und die Drehungsaxe des Hebels muss auf dieser Ebene senkrecht stehen. Wird nun der Hebel von dem Zapfen weggedreht, so kann der Cylinder anfangen sich zu drehen und wird durch das sinkende Gewicht P in beschleunigte Bewegung gesetzt. Ist das Gewicht durch eine gewisse Strecke gesunken, so setzt sich der Bügel auf den in seine Höhlung einspringenden, am Stativ befestigten und mit Kautschuk gepolsterten Zapfen Z. Damit hört die Beschleunigung und die Spannung der Schnur auf, diese löst sich durch Abfallen des Rings ganz vom Cylinder resp. der Rolle R, und der Cylinder kann sich nun ganz frei mit der erlangten Geschwindigkeit weiter drehen. Die Höhe der Lichtung des Bügels B, welche vermindert um die Dicke des Zapfens den maximalen Fallraum des Gewichts bildet, ist so bemessen, dass sie etwa dem halben Umfang der Rolle R gleichkommt. Denn mehr als eine halbe Umdrehung kann man nicht für Beschleunigung des Cylinders verwenden, da die Zeichnung der Zuckung noch innerhalb der ersten Umdrehung ausgeführt werden muss. Durch Höherstellen des Zapfens kann der zur Beschleunigung verwendete Theil der Umdrehung verkleinert werden. Man sieht leicht, dass man durch die Wahl des Gewichts und seines Fallraums die Endgeschwindigkeit des Cylinders zwischen weiten Grenzen verändern kann. Ist einmal ein bestimmtes Gewicht angehängt und der Fangzapfen in bestimmter Höhe festgestellt, so erhält man immer wieder genau dieselbe Endgeschwindigkeit, und diese erleidet auch in dem Reste der ersten Umdrehung, die zum Versuche benutzt wird, keine die Genauigkeit des Resultates irgend merklich beeinträchtigende Verzögerung, so dass sie als während des Versuchs vollkommen constant angesehen werden kann.

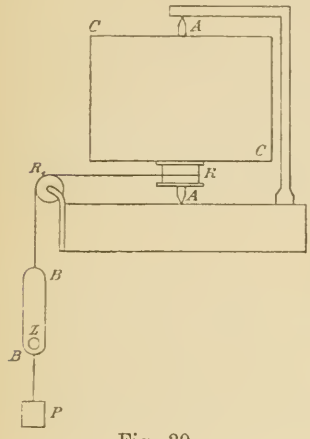


Fig. 39.

Beim wirklichen Versuch wird der Cylinder sofort, nachdem die Curve gezeichnet ist, noch ehe der Umlauf vollendet ist, mit der Hand angehalten. Als Zeichenfläche dient berusstes Glanzpapier, das über den Cylindermantel gespannt ist — nicht auf die Trommel selbst festgeklebt, damit man das Blatt leicht abnehmen kann. Man braucht nicht das ganze Papier zu berussen, sondern nur die Stelle, auf welche die Muskelzeichnung voraussichtlich kommen wird. Wo diese Stelle ist, ist leicht festzustellen mit Hilfe der nun zu beschreibenden Vorrichtung.

Durch die bewegte Trommel wird auch der primäre Strom geöffnet und dadurch das Präparat gereizt. Es geschieht das durch einen an der unteren Seite der Trommel angebrachten Stift, der gegen ein Metallplättchen stösst und dieses von einem Stift abhebt. Das Metallplättchen ist mit dem einen Zuleitungsdraht leitend verbunden, der Stift mit dem anderen. Diese Vorrichtung nennt man Contact; sie ermöglicht es, dass der Reizmoment bei mehreren nach einander angestellten Versuchen immer dann eintritt, wenn die Schreibspitze an einer bestimmten und immer wieder derselben Stelle der Trommel steht, so dass also bei mehreren gleichartigen Versuchen die erhaltenen Curven genau auf einander fallen. Um auf der Zeichenfläche zu markiren, wo der Zeichenstift im Reizmoment steht, macht man vor der Versuchsreihe einen Versuch, in dem die Zeichenfläche sehr langsam geführt wird, bis der Zapfen den Contact öffnet, dann macht bei der nun erfolgenden Zuckung der Zeichenstift an der nahezu ruhenden Fläche einen Strich, der den Reizmoment bezeichnet. In derselben Weise markirt man den Reizmoment auch bei den anderen, im Folgenden beschriebenen Schreibflächen.

2. **Rotirende Trommeln, die durch Uhrwerke in Bewegung gesetzt werden.** Von den vielen Apparaten dieser Art soll hier zunächst nur der gebräuchlichste, der unter dem Namen des „**Ludwig-Baltzar'schen Kymographions**“ bekannt ist, beschrieben werden, und im Anschluss daran die Modificationen angegeben werden, durch die sich einige andere von ihm unterscheiden.

Ein durch Feder getriebenes Uhrwerk, in dem Kasten A Fig. 40 befindlich, das mit dem Griff g aufgezogen, durch Bewegen des Sperrhebels h in Gang gesetzt resp. arretirt und durch einen Foucault'schen Windflügelregulator w regulirt wird, dreht die Axe a mit der daran befindlichen Scheibe D. Die Geschwindigkeit

der Drehung kann variirt werden durch Wechselräder im Uhrwerk: diese dienen dazu, die Bewegung einer Axe auf eine andere bald durch ein Zahnrad mit grossem, bald durch ein solches mit kleinem Radius zu übertragen, so dass im ersten Falle die zweite Axe schneller gedreht wird, als im zweiten Falle.

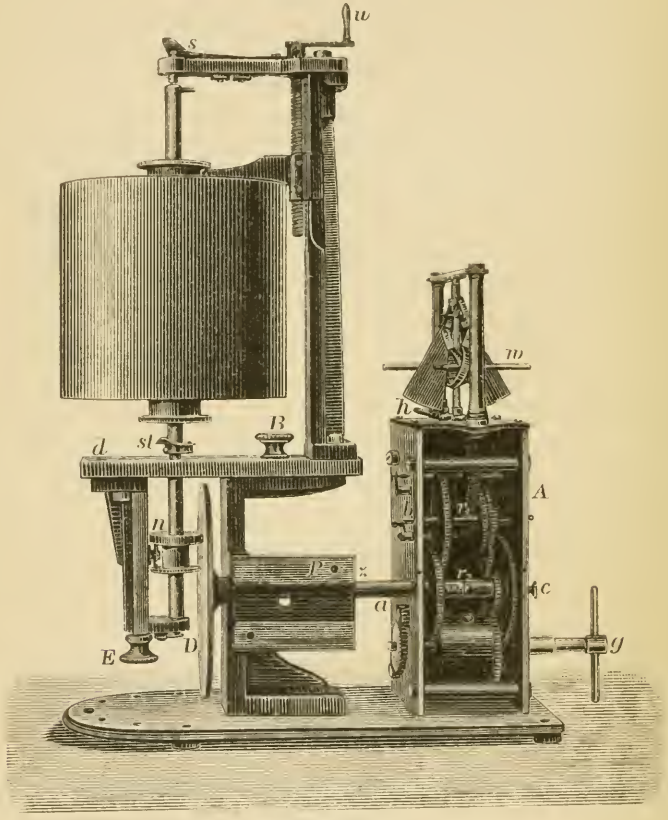


Fig. 40.

Solche Wechselräder befinden sich an dem Apparate zwei, r_1 und r_2. Die Verstellung eines derselben, r_1, erfolgt von aussen her durch Verschieben der an den Seitenflächen des Kastens A bei b aussen hervortretenden Axe in ihrer Längsrichtung. Die Einstellung des zweiten Wechselrades kann erst erfolgen, wenn der Kasten A geöffnet ist (wie das in der Figur dargestellt ist). Die Verschiebung des Rades r_2 erfolgt hier auch in der Längsrichtung seiner Axe.

Der Scheibe D liegt die Frictionswelle n an, die durch Drehen

der Scheibe D mit gedreht wird und deren in der Figur senkrecht stehende Axe die zu bewegende Schreibtrommel trägt. D wird durch eine Pressschraube c an n angedrückt. n lässt sich durch die Schraube E höher oder tiefer stellen. Während der Verstellung von n muss die Pressschraube ganz lose geschraubt werden. Je näher n dem Mittelpunkt der Scheibe D steht, desto langsamer ist bei gleichbleibender Drehungsgeschwindigkeit von D die Drehung der Axe von n, mithin auch der Trommel. Die Axe der Frictionswelle, und damit die Trommel, kann auch horizontal gestellt werden. Das geschieht so, dass man mit der Schraube B den oberen Theil mit der Trommel losschraubt, ihn umlegt und an der Platte P wieder fest schraubt.

Die Trommel, 13 cm hoch und von 50 cm Umfang, mit berusstem Glanzpapier überzogen, ist durch eine Hebelvorrichtung bei s leicht in dem Apparat zu befestigen oder aus ihm herauszunehmen. Damit die Trommel durch das Uhrwerk bewegt werden kann, muss ihre Axe mit der Axe der Frictionswelle fest verbunden werden. Das geschieht durch einen an der Axe befindlichen horizontal stehenden Stift st, der in einen Einschnitt an der Axe der Frictionswelle passt. Die Trommel kann in senkrechter Richtung verschoben werden durch Drehung der Kurbel u. An den neueren Apparaten dieser Construction ist auch eine selbstthätig wirksame Senkvorrichtung angebracht, durch die die Kurbel u von dem Uhrwerk gedreht wird. Das geschieht durch ein an der Axe a bei z angebrachtes Zahnrad (in der Figur nicht gezeichnet), welches eine senkrecht stehende Axe dreht, die an ihrem oberen Ende mittels eines Zahnrades die Drehung von u bewirkt.

Die Umdrehungsgeschwindigkeit der Trommel gestaltet sich für die verschiedenen Stellungen der Frictionswelle und der Wechselräder so:

Eine Umdrehung erfolgt

bei Stellung des unteren Rades	bei Stellung des oberen Rades	tiefster Stellung der Frictionswelle	höchster Stellung der Frictionswelle
links (im Sinne der Figur)	rechts	in 90′	12′
rechts	rechts	„ 12′	1 1/4′
rechts	links	„ 1 1/4′	1/8′.

Wenn man die Windflügel des Regulators festbindet oder sie ganz entfernt, kann man eine Umdrehung bis auf etwa 3″ herabdrücken.

Die anderen gebräuchlichen Registrirtrommeln unterscheiden sich von der beschriebenen durch Folgendes:

Statt des Uhrwerks mit Feder kann ein solches verwendet werden, das durch ein fallendes Gewicht bewegt wird, oder es wird die Trommel durch Wasser- oder Gasmotor oder durch eine Dampfmaschine getrieben.

Statt die Trommel mit einem Stück Schreibpapier zu überspannen, kann man mit Hilfe derselben auch beliebig lange Papierstreifen an der Schreibspitze vorbei bewegen. Das geschieht in zweierlei Art:

1. Der Papierstreifen wird beim Gange des Apparates von einer Vorrathsrolle ab- und auf eine zweite Rolle aufgewickelt. Er geht dabei über einen Cylinder hinweg und legt sich diesem glatt an. Da wo er dem Cylinder anliegt, wird gezeichnet. Dieser Registrirapparat wird verwendet, wenn man lange Zeit hindurch fortwährend Aufzeichnungen machen will.

Solche Apparate sind angegeben von: Baltzar, Foster, Aubert und Angelucci.

2. Der eben beschriebene Apparat hat den Nachtheil, dass man für ihn nicht berusstes Papier benutzen kann, sondern mit besonderen Schreibfedern zeichnen muss, die mit Tinte oder Farbstofflösungen auf weisses Papier zeichnen. Diese Federn sind oft unzuverlässig. Um sie zu vermeiden, hat man Registrirapparate mit langen, zu berussenden Papierstreifen so gebaut: Es wird ein langer, in sich selbst zurücklaufender Streifen um zwei sich drehende Trommeln gelegt und bewegt. Der Papierstreifen ist zwischen die Trommeln gespannt, deren Entfernung von einander verschieden gross gemacht werden kann. Die Apparate sind so construirt, dass sich die ganze Zeichenfläche, also beide Cylinder gleichzeitig, auch heben und senken lässt.

Solche Apparate sind angegeben von Hering, Hürthle.

3. **Schreibfläche, die durch eine gespannte Feder bewegt wird. Federmyographion von Du Bois-Reymond.** Ein Glasstreifen von etwa 5 cm Höhe und 20—25 cm Länge wird in Falzen durch eine Spiralfeder von Stahldraht mit grosser Geschwindigkeit in seiner eigenen Ebene fortgezogen oder sozusagen fortgeschnellt, während die Spitze des Zeichenstifts an die berusste Oberfläche anlehnt und dafür gesorgt ist, dass die Zeichnung gerade in die Zeit des Vorüberfahrens der Glastafel fällt. Letzteres geschieht dadurch, dass

die bewegte Platte den Contact im primären Stromkreis öffnet. Da die Geschwindigkeit nicht constant ist, so entspricht nicht jede Längeneinheit in der Bewegungsrichtung demselben Zeittheil. Sollen also Zeitmessungen mit diesem Apparat gemacht werden, so muss man sich den Zeitmassstab auf eine andere Art verschaffen, wovon weiter unten die Rede sein soll.

In Fig. 41 ist das Federmyographion schematisch dargestellt. S ist die Schreibplatte, die durch die Stanzen st st geführt, sich

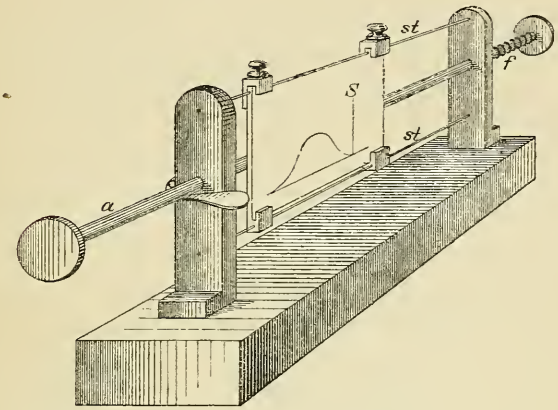


Fig. 41.

bewegt. f ist die Feder, die gespannt wird, wenn man die Schreibfläche mit der daran befestigten Stange a nach links vorne drückt. Die Vorrichtung zum Oeffnen des Contacts ist nicht gezeichnet.

4. **Schreibfläche, die nach Art eines Pendels bewegt wird. Pendelmyographion von Fick.** Eine Glasplatte ist am unteren Ende eines schweren, aus Eisenstangen gefertigten Pendels von etwa 1 m Länge so befestigt, dass ihre Oberfläche senkrecht zur Axe des Pendels steht, sich also bei der Schwingung in ihrer eigenen Ebene verschiebt. An diese Oberfläche lehnt der Zeichenstift. Das Pendel wird nun aus seiner Gleichgewichtslage gezogen und in einer gewissen, zum Voraus bestimmten Entfernung — sagen wir 10^0 — festgehalten, sodann plötzlich durch Wegziehen einer Stütze, an die ein vom Pendel vorspringender Zapfen angelehnt war, losgelassen und nach Beendigung des Schwungs auf der anderen Seite festgehalten. Während des Schwungs zeichnet der Schreibhebel. Das Pendel öffnet durch seine Bewegung einen Contact im primären

Strom, der gerade so beschaffen ist wie der Contact des Cylindermyographion.

Die Abscissenlinie, in welcher die Zeiten zu messen sind, und die von der ruhenden Zeichenspitze beschrieben wird, ist hier ein Kreisbogen. Ausserdem entsprechen nicht gleiche Stücke des Bogens gleichen Zeiträumen, da das Pendel sich nicht mit constanter, sondern Anfangs mit zunehmender und nach Passiren der Gleichgewichtslage mit abnehmender Geschwindigkeit bewegt. Man kann aber nach den Pendelgesetzen berechnen, welche Zeit das Pendel zum Durchlaufen jeder Strecke seiner Bahn gebraucht. Einfacher ist es freilich, auch hier mit den gleich zu beschreibenden Vorrichtungen den Zeitmassstab an die Pendeltafel anzuzeichnen.

Um die Schreibfläche bei Aufzeichnung mehrerer Zuckungen auszunutzen, müsste man sie vertical verstellen. Dadurch würde freilich eine Schwerpunktsverschiebung entstehen. Um diese auszugleichen, hat Helmholtz eine zweite Platte, die Compensationsplatte am Pendel angebracht, die ebenso schwer ist wie die erste, und die sich bei der durch Drehen einer Kurbel bewirkten Verstellung der Schreibplatte um denselben Betrag, aber in entgegengesetzter Richtung bewegt.

Die unter Nr. 1, 3 und 4 beschriebenen Vorrichtungen eignen sich am besten für die Registrirung schnell verlaufender Vorgänge, während der unter 2 beschriebene Registrirapparat bei langsamer verlaufenden Vorgängen benutzt wird.

Befestigung und Berussung des Schreibpapiers. Fixiren der Zeichnungen. Verwendet wird glattes Papier, am besten weisses Glanzpapier. Der Papierstreifen wird bei ebenen Schreibflächen so zurechtgeschnitten, dass er gerade so gross ist, wie die Schreibfläche. Für Trommeln wird er so breit genommen, wie die Trommel hoch ist, und etwas länger als der Cylinderumfang. Er wird angefeuchtet mit einem feuchten (nicht zu nassen) Schwämmchen, dann bei ebener Fläche an allen Rändern, bei Trommeln an einem Rande der Breitseite mit Gummilösung bestrichen und nun auf die Schreibfläche aufgeklebt, bei der Trommel durch Verklebung der beiden Ränder. Das Ueberkleben muss so stattfinden, dass die schreibende Spitze bei der Bewegung der Trommel nicht in der Nahtstelle hängen bleiben kann. Bei den Registrirtrommeln, die sich nur in einer Richtung bewegen, lässt man am besten die Spitze von der Duplicatur des Papiermantels zur Nahtstelle gleiten. Beim Cylinder-

myographion von Fick, dessen Trommel nach beiden Richtungen hin gedreht werden muss, nämlich beim Aufziehen des Gewichts in entgegengesetzter, als beim Aufzeichnen der Curve, stellt man die Naht so zur Schreibspitze, wie Fig. 42 es zeigt. b_1 und b_2 sind die mit den Rändern auf einander geklebten Papierblätter, sp die Schreibspitze. Wenn der Papierstreifen aufgeklebt ist, lässt man ihn trocknen, dabei legt er sich der Schreibfläche ganz glatt an.

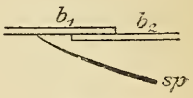


Fig. 42.

Die Berussung geschieht mit einer Petroleumlampe ohne Cylinder oder mit einer leuchtenden Gasflamme. Um eine Schreibfläche mit einer sehr feinen Russschicht zu versehen, bedient man sich

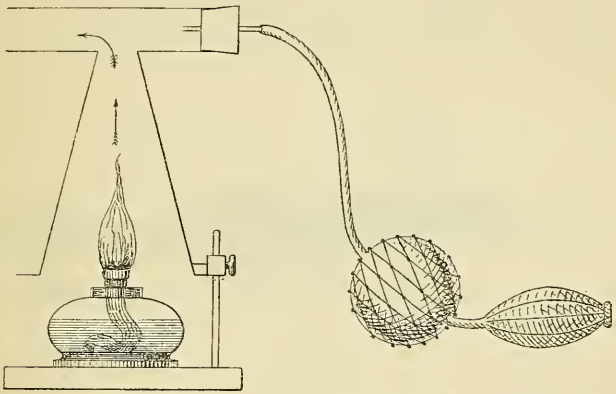


Fig. 43.

des Russzerstäubers von Hürthle, der den Rauch der Lampe gegen die zu berussende Fläche mit einem Gummigebläse bläst (schematische Darstellung in Fig. 43).

Nach dem Gebrauch schneidet man das Papier von der Schreibfläche ab und fixirt die Zeichnung dadurch, dass man sie in eine Lösung von Schellack in Alkohol taucht und danach trocknen lässt.

3. Zeitschreibung.

Es handelt sich darum, zu bestimmen, wie gross die Zeit ist, in der sich die Schreibfläche um einen bestimmten Betrag — sagen wir 1 mm — an der Schreibspitze vorbei bewegt. Dazu dienen besondere zeitschreibende Apparate.

1. Bei Schreibflächen mit grosser Geschwindigkeit der Bewegung.

Schreibende Stimmgabel. Die Schwingungen einer Stimmgabel von genau bestimmter Schwingungszahl werden auf die Schreibfläche aufgezeichnet. Es genügt für die meisten Zwecke eine Gabel von 100 Schwingungen in der Secunde.

Directe Aufzeichnung der Stimmgabelschwingungen. Man befestigt am Ende einer Zinke mit etwas Wachs eine leichte Schreibspitze aus Schilf und lässt sie auf die Schreibfläche zeichnen, nachdem man sie mit einem Fidelbogen in Schwingungen versetzt hat. Man erhält eine regelmässige Wellenlinie, sogenannte Sinuscurven. Einer ganzen Schwingung entspricht die Entfernung von einem Wellenberg zum nächsten. Diese Entfernung bedeutet also 0,01" für eine Stimmgabel von 100 Schwingungen in der Secunde.

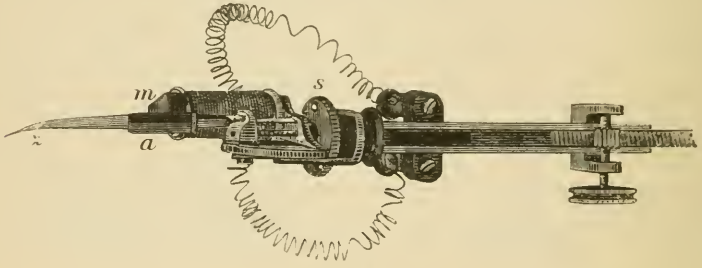


Fig. 44.

Aufzeichnung der Stimmgabelschwingungen mit Hilfe elektrischer Uebertragung nach Marey. Eine Zinke der Gabel schliesst und öffnet bei ihren Schwingungen durch einen an ihr befestigten Platinstift, der gegen ein Metallplättchen stösst, einen Contact. Der Contact ist in einen Stromkreis eingeschaltet, der einen an passendem Stativ angebrachten kleinen Elektromagneten (m, Fig. 44) umkreist. Dieser Elektromagnet zieht einen an einer Stahlfeder befestigten Anker a jedesmal an, wenn der Strom geschlossen wird, und lässt ihn bei Oeffnung wieder los. Der Anker trägt die Zeichenspitze z. Uebrigens umkreist der Strom noch einen zweiten Elektromagneten, der einer der Zinken der Stimmgabel gegenüber steht und diese abwechselnd anzieht und wieder loslässt. Dadurch wird die Gabel fortwährend in Schwingung gehalten, ähnlich wie der Wagner'sche Hammer des Inductionsapparates.

Durch eine Schraube s kann man einen Schieber entlang der

Feder so verschieben, dass man die Länge des schwingenden Theils, und damit die Schwingungszahl ändert. Man stellt den Schieber so ein, dass die Schwingungszahl der Feder möglichst der der Stimmgabel entspricht.

Zu dieser Art der Zeitschreibung können auch die sogenannten Signalschreiber benutzt werden, die zu dem Zwecke construirt sind, bestimmte Zeitmomente, z. B. Beginn oder Ende der Reizung eines Nerven, aufzuzeichnen.

Die bewährtesten Signale sind:

1. **Das Signal Deprez-Verdin.** Der Zeichner ist verknüpft mit dem Anker eines Elektromagneten, der beim Schluss des Stromes angezogen, bei Oeffnung durch eine Abreissfeder wieder abgerissen wird. Diese Bewegung wird durch den Zeichner aufgezeichnet. Sowohl die Grösse der Ankerbewegung als die Spannung der Abreissfeder kann variirt werden.

2. **Signal Kronecker-Pfeil,** nach dem Telephonprincip gebaut. Eine rechteckige Stahlplatte ist an beiden Breitseiten festgehalten, darunter befindet sich der Elektromagnet, dessen Abstand von der Stahlplatte zu variiren ist. Wenn der Strom geschlossen wird, so wird die Platte vom Magnet angezogen und biegt sich in der Mitte nach unten, wenn der Strom geöffnet wird, nimmt die Platte ihre frühere Gleichgewichtslage an. Die Platte darf die Pole des Elektromagneten nicht berühren. Oben auf der Platte steht ein Messingstäbchen, das gelenkig mit dem Zeichenhebel verbunden ist.

Für genaue Signalschreibung ist es nöthig, die sogenannte Latenzzeit der Signale zu kennen, d. i. die Zeit, die vom Beginn der Stromschliessung oder -öffnung bis zum Beginn der Bewegung der Zeichenfeder vergeht. Die Messung der Latenzzeit geschieht nach demselben Principe, nach dem die sogenannte latente Reizung des Muskels gemessen wird (siehe das folgende Kapitel). Sie beträgt für das Signal Deprez-Verdin 0,00086 Secunden, für das Signal Kronecker-Pfeil (nach Yeo) 0,00077 Secunden.

Der Zeitschreiber wird zusammen mit dem die Bewegung des Muskels zeichnenden Schreiber an die Schreibfläche angelehnt, so dass beide senkrecht über einander stehen. Dann kann man aus der Zeichnung des Zeitschreibers die Zeit, welche die zugehörige Abscisse der Muskelcurve bedeutet, direct entnehmen.

2. Bei Schreibflächen mit geringer Geschwindigkeit.

Auch hier wird die Zeit markiert durch die Aufzeichnung der Bewegung eines Ankers, der durch einen Elektromagneten in regel-

mässigen Zwischenräumen angezogen und durch eine Feder wieder abgerissen wird. Ein solcher Apparat ist beispielsweise dem Kymographion von Ludwig-Baltzar beigegeben, er wird an der Stelle d (Fig. 40) angeschraubt. Die Vorrichtung trägt zugleich einen Schlüssel, der nach demselben Princip, wie der Du Bois-Reymond'sche eingerichtet ist. Durch einen mit dem Griff des Schlüssels verbundenen Zeichner wird auch das Schliessen und Oeffnen des Schlüssels auf der Schreibfläche registrirt.

Das Schliessen und Oeffnen des Stroms des Elektromagneten für den Zeitschreiber geschieht durch ein mit Uhrwerk getriebenes Pendel, das bei seinen Schwingungen einen Contact regelmässig schliesst und öffnet. Apparate dieser Art sind:

1. **Ein Metronom**, das an seinem Pendel einen horizontalen Arm trägt, der an einem Ende an einem isolirten Hartgummistück einen kleinen Metallbügel (am besten Platindraht) trägt. Die Enden des Bügels tauchen jedesmal in zwei mit den stromzuführenden Drähten verknüpfte Quecksilbernäpfchen, wenn das Pendel sich nach der Seite des Bügels zuneigt. Dadurch wird der Strom geschlossen, kurz darauf wieder geöffnet, wenn das Pendel nach der anderen Seite schwingt.

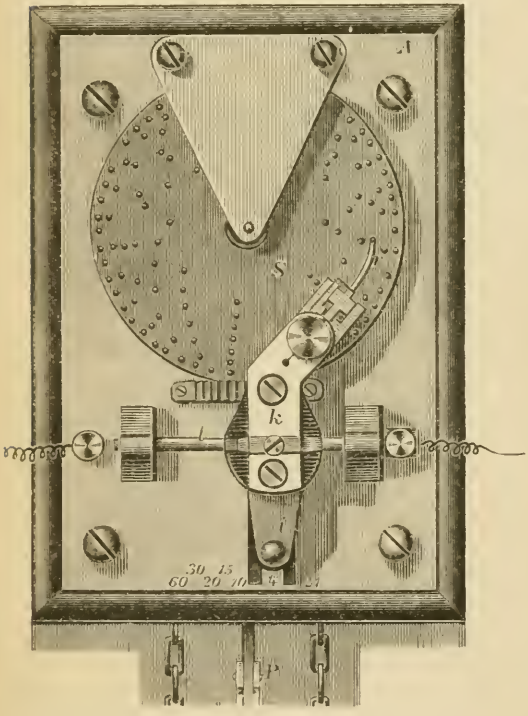


Fig. 45.

2. **Die Baltzar'sche Uhr.** Eine Pendeluhr (in dem Kasten A, Fig. 45) dreht eine Metallscheibe S, auf die in zehn concentrischen Kreisen eine Anzahl kurzer Metallstifte angebracht sind. Der äusserste Kreis hat 60, der nächste 30, der dritte 20 gleich weit von einander entfernte Stifte u. s. f., der innerste nur einen. Die Stifte stossen bei der Drehung gegen ein

federndes Metallplättchen, r, heben dasselbe von einem Stift ab und öffnen dadurch einen Contact. Das Metallplättchen r kann für jeden der Kreise eingestellt werden durch Verschieben des Körpers k auf der Schiene l; ist es z. B. für die äussersten eingestellt, so findet die Oeffnung des Contacts bei einer Umdrehung der Scheibe 60 Mal statt, steht es über dem inneren Kreise, so wird der Contact nur einmal geöffnet.

Die Spitze i zeigt für jede Stellung des Körpers k auf diejenige von den unter ihr angebrachten Zahlen, die die Unterbrechungen bei einer Umdrehung der Scheibe angiebt. Wenn das Pendel Secunden schlägt, so dreht sich die Scheibe in einer Minute genau einmal um. Das Uhrwerk wird durch ein Gewicht getrieben.

3. **Zeitregistrirung nach Grützner** (s. Pflüger's Archiv f. d. ges. Physiolog. Bd. 41, S. 290). Wenn man aus einer engen Röhre unter gleichbleibendem Druck Wassertropfen abfallen lässt, so tropfen diese stets in genau gleichen Zeiträumen ab. Dies wird zur Zeitregistrirung in folgender Weise verwerthet.

Eine Mariotte'sche Flasche von etwa 1 l Inhalt ist mit Wasser gefüllt. Die Mariotte'sche Flasche besitzt bekanntlich nahe am Boden eine seitliche Ausflussöffnung. Die obere Oeffnung ist verschlossen und durch den verschliessenden Kork geht luftdicht eine beiderseits offene Röhre, deren unteres Ende in das Wasser taucht. Das Wasser fliesst, so lange sein Niveau die untere Oeffnung der Röhre nicht erreicht hat, mit gleichmässiger Geschwindigkeit aus. Zu unserem Zwecke ist die in das Wasser hineinragende Glasröhre unten schräg abgeschliffen, damit die Luftblasen immer gut und schnell entweichen können, ohne dass die Wasserhöhe hierbei schwankt. Die aus der seitlichen Oeffnung der Flasche herausführende Röhre, die man passend aus zwei durch einen Gummischlauch verbundenen Stücken bestehen lässt, ist etwas abgeschrägt oder zugespitzt. Ein mit Schraube versehener Quetschhahn regulirt den Abfluss. Zum bequemen und genauen Einstellen empfiehlt übrigens Grützner noch einen besonders gearbeiteten Hahn (siehe darüber die citirte Abhandlung). Man stellt die Klemme oder den Hahn so ein, dass die Tropfen in bestimmten Zeitintervallen, etwa jede Secunde einer, fallen.

Die Registrirung der Bewegung der fallenden Tropfen geschieht mittels des Verfahrens der Luftübertragung, das im Kapitel XLI ausführlich beschrieben ist. Hier sei bemerkt, dass

die Tropfen etwa 45 cm hoch auf die Gummimembran einer ein wenig geneigten Aufnahmetrommel, ähnlich der zur Registrirung des Spitzenstosses verwendeten (siehe Kapitel LXI) auffallen, an deren tiefstem Rande ein Stück Fliesspapier hingelegt wird, damit das Wasser schnell und gleichmässig von ihr abläuft und der neu herabfallende Wassertropfen immer auf die vom Wasser freie Kautschukmembran aufschlägt. Mit der Aufnahmetrommel ist in Verbindung die Zeichentrommel, deren Zeichenhebel jedesmal, wenn ein Tropfen auffällt, eine kleine Erhebung auf die Schreibfläche zeichnet.

4. **Zeitregistrirung nach Langendorff**, geschieht auch nach dem Verfahren der Luftübertragung; gegen die Aufnahmekapsel schlägt die mit einem Knopf versehene Pendelstange eines Metronoms bei ihrer Bewegung an.

Anhang. **Feuchte Kammer.** Bei den Versuchen, die wir nun mit den beschriebenen Apparaten anstellen wollen, ist das Befeuchten des Präparats in der bisher geübten Weise lästig und unter Umständen schädlich, weil durch Berührung des Präparats zu leicht eine Verlagerung des Präparats und des Schreibhebels und damit Aenderung der Versuchsbedingungen statthaben kann. Wir vermeiden das durch Anwendung der feuchten Kammer, mit der jeder der beschriebenen Schreibapparate versehen sein muss. Die feuchte Kammer besteht aus einem Kästchen aus verschiedenem Material, Holz, Metall oder Glas, in das der Muskel aufgehängt werden kann. Der Kasten hat Oeffnungen für die Verbindungsstücke des Muskels mit dem Stativ und dem Zeichner und Löcher für die zuleitenden Drähte des elektrischen Reizapparats. Die Innenwände der feuchten Kammer werden mit Fliesspapier beklebt und dieses mit Wasser feucht gemacht. In einer solchen Kammer kann das Präparat nicht vertrocknen. Die Form und Grösse der feuchten Kammer ist den Versuchszwecken angepasst.

VIII. Kapitel.

Graphische Registrirung der Zuckung.

1. Registrirung der Hubhöhe allein.

a) Abhängigkeit der Zuckungshöhe von der Reizstärke. Maximalzuckung.

Schreibapparat. Feststehende Schreibfläche (es genügt dazu eine einfache, mit berusstem Papier überzogene Glasplatte, die an einem Stativ befestigt ist).

Isotonischer Schreibhebel, der die Verkürzung etwa 6fach vergrössert wiedergiebt.

Reizapparat. Schlitteninductorium mit Tauchelement. In der primären Leitung ein Quecksilberschlüssel, in der secundären ein Du Bois-Reymond'scher Schlüssel als Nebenleitung. Die stromzuführenden Drähte des secundären Kreises werden dem Nerven oder Muskel direct angelegt. Dabei ist zu beachten, dass man den Draht, der dem beweglichen Muskelende anliegt, möglichst dünn und leicht wählt, damit er die Bewegung des Muskels nicht hemmt. Statt das Drahtende hier direct anzulegen, kann man Draht und Muskelende auch durch einen Lamettastreifen verbinden.

Präparate für den Versuch mit indirecter Reizung: Nervmuskelpräparat;

für den Versuch mit directer Reizung: Gastrocnemius eines curaresirten Frosches.

Die Belastung des Schreibhebels wird so gewählt, dass die Spannung des Muskels etwa 10 g beträgt.

Anstellen des Versuchs. Man reizt jedesmal mit gleichen Inductionsströmen, am besten mit Oeffnungsströmen. Während des Schliessens des primären Stromes wird der Tetanisirschlüssel geschlossen gehalten. Die Rollen werden zuerst so weit auseinander gestellt, dass Reizung keinen Effect hat. Nun schiebt man die Rollen einander näher und reizt, schiebt dann wieder die Rollen näher, reizt wieder u. s. f. Wenn der Muskel zum erstenmal eine Zeichnung ausgeführt hat, verschiebt man die Schreibfläche um ein kleines Stück. Das geschieht von da ab jedesmal nach der Reizung, damit die von

verschiedenen Reizen herrührenden Zeichnungen nicht in einander fallen. So geht man weiter, bis zu den stärksten möglichen Reizen. Man erhält dann eine Zeichnung, etwa wie sie Fig. 46 zeigt.

Es ergiebt sich aus der Zeichnung:

Von der kleinsten überhaupt wirksamen Reizstärke ab nimmt mit wachsender Reizstärke die Hubhöhe zu bis zu einem Maximum, über das hinaus weitere Steigerung des Reizes den Muskel nicht mehr zu verkürzen vermag. Dabei besteht ein Unterschied zwischen directer und indirecter Reizung. Bei ersterer ist das Intervall vom kleinsten überhaupt wirksamen Reiz bis zum kleinsten Maximalzuckung auslösenden Reiz beträchtlich grösser, als bei letzterer.

Fig. 46.

Aus den erhaltenen Linien bestimmt man noch unter Berücksichtigung der Vergrösserung durch den Schreibhebel die Verkürzung des Muskels, und das Verhältniss der ganzen Länge des Muskels in der Ruhe zu seiner Verkürzung bei maximaler Zuckung.

b) Abhängigkeit der Erregungsgrösse des Nerven von dem Winkel der Strom- und der Faserrichtung.

Reiz- und Zeichenapparat wie beim vorigen Versuche.

Ein Kästchen, etwa 3 cm lang, 1 ½ cm breit und 0,5 cm hoch (Fig. 47), das an seinen Breitseiten zwei Metallplatten, im übrigen Glaswände hat, ist mit physiologischer Kochsalzlösung gefüllt. Die Metallwände sind leitend verbunden mit den Drahtenden der secundären Spirale, so dass der Strom durch die Flüssigkeit in der Längsrichtung des Kästchens hindurchgeht. In der Mitte des Deckels des Kästchens befindet sich ein kreisrundes Loch von 1 cm Durchmesser. Auf dem Deckel und mitten über das Loch wird der Nerv gerade ausgestreckt, so dass er im Bereiche des Loches soeben in die Flüssigkeit eingetaucht ist. Eine Gradeintheilung am Rande des Loches ermöglicht es, den Winkel, den die Faserrichtung mit der

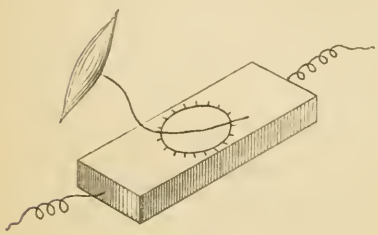


Fig. 47.

Längsrichtung des Kästchens, und damit der Stromrichtung bildet, direct abzulesen. Man lege den Nerven zuerst so, dass Faserrichtung und Stromrichtung genau zusammenfallen und mache den Reiz dann so stark, dass gerade eine maximale Zuckung entsteht. Verändert man nun die Faserrichtung, so hat der gleiche Reiz geringeren Effect. Der Effect ist um so geringer, je mehr der Durchströmungswinkel sich 90° nähert und bei genau querer Durchströmung bleibt die Erregung ganz aus. Letzteres ist allerdings nicht immer leicht zu beobachten, weil es schwer ist, gerade die Lage des Nerven genau zu treffen, bei der er quer durchströmt wird.

2. Registrirung des Verlaufs der Zuckung.

a) Isotonische Zuckung.

Figur 48 giebt ein Schema der Aufstellung zum Versuch ohne Zeitschreiber.

Apparate. Reizapparat: Inductionsapparat, Tauchelement. In den primären Stromkreis ist der Contact C eingeschaltet, der durch den Zapfen z der bewegten Schreibfläche S geöffnet wird.

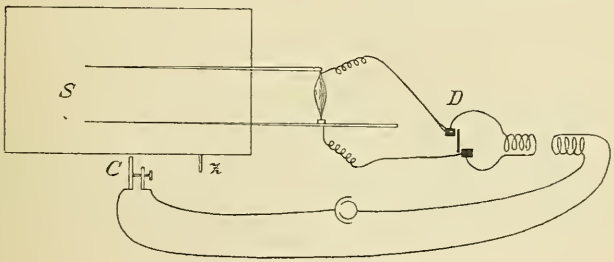


Fig. 48.

Der Rollenabstand wird so gewählt, dass bei Oeffnung Maximalzuckung erhalten wird. D ist der Du Bois-Reymond'sche Schlüssel, der als Nebenleitung in den secundären Kreis eingeschaltet ist. Er dient zur Abblendung der Schliessungsinductionsströme vom Präparat.

Schreibfläche (S): Cylindermyographion oder Federmyographion oder Pendelmyographion.

Zeitschreiber: Stimmgabel mit elektrischer Uebertragung.

Schreibhebel: Falls man den S. 64 beschriebenen Apparat zur Verfügung hat, benutzt man diesen am zweckmässigsten. Das Präparat, welches zu dem Versuch mit diesem Apparat verwandt

wird, ist das von Doppelsemimembranosus und -gracilis, kurze Anordnung. Zur Verbindung des Spannungszeichners mit dem oberen Muskelende ist daran ein ⊥-Stück angebracht, dessen horizontaler Balken an beiden Enden zwei Längsschlitze hat, in die man die Muskelenden so einschieben kann, dass die Unterschenkelknochenstücke auf dem horizontalen Balken liegen und den Muskel festhalten (s. Fig. 38). Durch das Becken, in der Richtung von einer Pfanne zur anderen, ist ein Haken h gesteckt, der zur Verbindung mit dem Längenzeichner C dient. Die Belastung an der Rolle wird so gewählt, dass die Spannung des Muskels etwa 20 g beträgt. Auch hier werden die Drähte der secundären Leitung den Muskelenden direct angelegt.

Der Schleuderhebel, der sich auch an dem einen der angegebenen Apparate befindet, soll zunächst noch nicht benutzt werden. Man schraubt ihn daher ab oder stellt ihn so, dass er nicht mit bewegt werden und nicht zeichnen kann.

Hat man keinen Apparat zur Verfügung, an dem Längenzeichner und Spannungszeichner zusammen sind, so muss man die Curve der Längenänderung und der Spannungsänderung nach einander mit verschiedenen Apparaten registriren.

Ausführung des Versuchs. Man lehnt die Zeichner so an die Zeichenfläche an, dass sie zeichnen können, und bewegt die Zeichenfläche einmal an den Zeichnern bei ruhendem Muskel vorbei, so dass eine **Abscissenaxe** oder Nulllinie gezeichnet wird. Dann markirt man auf der Zeichenfläche den **Reizmoment** in der S. 67 angegebenen Weise. Dann wird die Schreibfläche an dem durch den gereizten Muskel bewegten Zeichenhebel in der beschriebenen Weise vorbei bewegt. Den Zeitschreiber lässt man erst im letzten Falle mitschreiben, man stellt ihn so, dass seine Schreibspitze senkrecht unter der des Längenzeichners steht.

In einem ersten Versuche registrirt man eine **isotonische Zuckung.** Die erhaltene Curve der Verkürzung J (Fig. 49) beginnt nicht im Reizmoment, sondern es vergeht eine merkliche Zeit vom Reizmoment bis zum Beginn der Verkürzung: Stadium der latenten Reizung von r bis a. Dann steigt die Curve erst allmählich an, dann steiler, schliesslich wieder allmählich bis zur höchsten Stelle b: Stadium der ansteigenden Energie, von a bis b, und sinkt ebenso wieder zur Abscisse zurück: Stadium der sinkenden Energie, von a bis c. Gegen Ende der Curve zeigen sich oft noch einige Wellenlinien in derselben, die aber herrühren von Trägheitsschwingungen

des Zeichners. Denn trotz der geringen Masse kommt dem Längenzeichner doch immer noch Trägheit zu.

Man beachte auch die Curve, die im Falle der Verwendung des S. 64 beschriebenen Apparates der Spannungszeichner bei der isotonischen Zuckung gezeichnet hat. Er sollte eine gerade Linie in der Abscissenaxe zeichnen, wenn die Zuckung rein isotonisch wäre. In der Regel kann man aber auch bei einer isotonischen Zuckung eine Spannungsänderung constatiren, nämlich im Beginn der Zuckung, die aber von geringem Betrage ist, etwa so

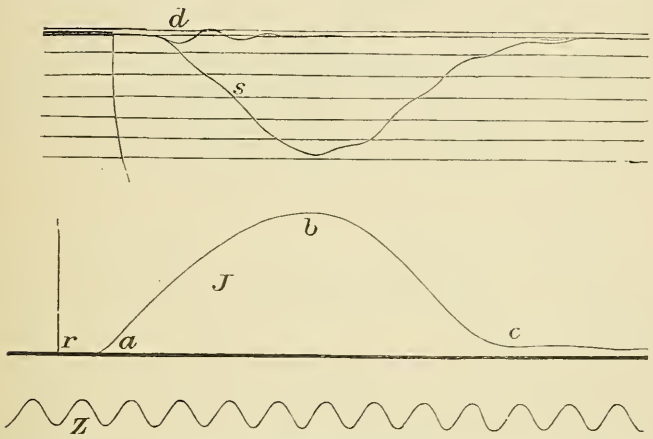


Fig. 49.

Isotonische (J) und isometrische (s) Zuckung eines Doppelsemimembranosus und -gracilis, mit Schönlein's Myographion registrirt. Die Entfernung der beiden Abscissen für Spannungs- und Längenzeichner von einander betrug im Original etwa 12 cm; die Curven sind, um an Raum zu sparen, hier näher an einander gerückt. Spannung des Muskels 20 g. Die horizontalen, durch die Spannungscurven gezogenen Linien geben den Massstab für den Spannungszeichner, die oberste (über der Abscisse der Spannungscurve) giebt die Spannung 0 g an, die zweite 100 g, die dritte 200 g, die vierte 300 g u. s. f. Im Original waren die Curven weiss auf schwarz gezeichnet.

aussieht, wie Fig. 49 d. Das liegt daran, dass es nicht möglich ist, den isotonischen Schreibhebel ganz masselos herzustellen, er besitzt immer noch etwas Trägheit, daher die geringe Spannungsänderung im Beginn der Bewegung.

In Fig. 49 ist unten bei Z die Curve des Zeitzeichners angegeben; dieselbe wurde erhalten von einer Stimmgabel, die 100 Schwingungen in der Secunde machte, jede Welle entspricht also 0,01″.

Berücksichtigt man die Zeitzeichnung bei Ausmessung der Abscissen, so erhält man für das Stadium der latenten Reizung etwa 0,01″, für das Stadium der steigenden Energie etwa 0,04″, für das Stadium der sinkenden Energie auch etwa 0,04″.

Nun wiederhole man ganz genau den ersten Versuch. Der Zeitschreiber braucht aber nicht mehr mitzuzeichnen, weil die Bewegungsgeschwindigkeit dieselbe wie im ersten Versuch ist. Man setzt ihn deshalb von der Schreibfläche ab. Man erhält dann — vorausgesetzt, dass die Bewegungsgeschwindigkeit der Schreibfläche dieselbe ist — eine Curve, die sich mit der ersten genau deckt. Beachten muss man vor Beginn des zweiten Versuches, dass die Zeichenspitze von derselben Abscisse ausgeht, wie beim ersten, weil sonst eine genaue Uebereinstimmung der Curven nicht möglich ist. Es steht nämlich oft nach einem Versuch die Spitze etwas höher oder tiefer als vorher. Man kann die Spitze wieder auf ihren alten Stand bringen durch Drehen einer Schraube, die sich an den Verbindungsstücken des Muskels mit dem Spannungszeichner oder bei feststehendem oberen Muskelende an dem haltenden Haken oder der Klemme befindet.

b) Isometrische Zuckung.

Nun wird eine isometrische Zuckung aufgezeichnet. Es wird dazu bei dem S. 64 beschriebenen Apparate das untere Muskelende festgestellt.

Man kann dies am einfachsten bewerkstelligen dadurch, dass man ein Querstück, das an demselben Stativ, wie die beiden Zeichner, angebracht werden kann oder auch an einem anderen, neben dieses zu stellenden, so über dem Längenzeichner fest einstellt, dass es ihm gerade aufliegt: der Zeichner kann dann durch den Muskel nicht mehr gehoben werden. Man legt das Querstück dem Längenzeichner möglichst dicht am Angriffspunkt des Muskels auf, da der thätige Muskel den Zeichner sonst zu leicht durchbiegen oder gar durchbrechen kann.

Statt dieser einfachen Feststellung des unteren Muskelendes kann man sich auch einer besonderen dem Schönlein'schen Apparate beigegebenen Vorrichtung dazu bedienen (Fig. 50 und 51). Unter dem Angriffspunkt des Muskels A kann man am Längenzeichner einen Haken H einhaken, dessen unteres Ende verhakt wird mit einem Arme d eines zweiarmigen Hebels B. Der thätige Muskel würde diesen Hebelarm in die Höhe ziehen, den anderen (e) nach unten, wenn nicht letzterer an seiner Bewegung nach unten gehemmt würde, durch ein Widerlager W, gegen das er anstösst. Das Widerlager besteht in einer senkrecht stehenden Schraube, die so hoch eingestellt wird, dass bei ruhendem Muskel der Arm e des Hebels dem Ende der Schraube W gerade aufliegt. Auf diese Weise ist eine Aufwärtsbewegung des unteren Muskelendes verhindert.

An dem Apparat ist noch eine Vorrichtung angebracht, die es gestattet, die Anfangsspannung des Muskels bequem zu variiren; es kann nämlich an das Ende des Hebelarmes d eine Schaale Sch angehängt werden, der man Gewichte zur Spannung des Muskels auflegt. Wird in Folge dessen d nach

unten gezogen, so hebt sich e in die Höhe und von W ab. Man schraubt W nun wieder so weit in die Höhe, dass sie e gerade anliegt und hat dann das untere Muskelende auch für die neue Spannung festgestellt. Die Schaale Sch ist mit d nicht direct verbunden, sondern vermittels des Bügels B (in Fig. 51 von der Seite gesehen). Dieser Bügel als Zwischenstück ist nöthig, weil sonst die Schaale an das Querstück Qu stossen würde, durch die die ganze Vorrichtung am Stativ befestigt ist.

In Versuchen, in denen man nur das isometrische Verfahren anwenden will, braucht man übrigens den Längenzeichner nicht einzuschalten, sondern kann das untere Muskelende direct durch den Haken H mit dem Hebel d verbinden.

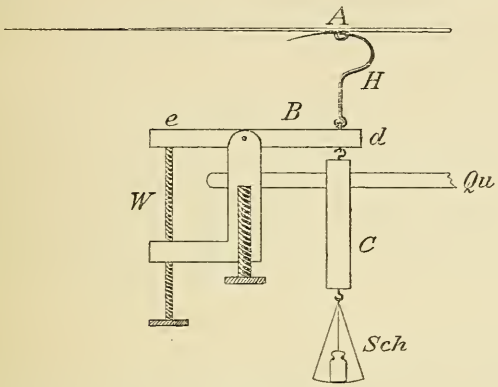


Fig. 50.

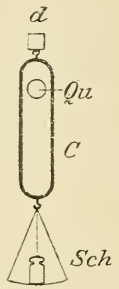


Fig. 51.

Lässt man nun nach Feststellung des unteren Endes den Muskel zucken und seine Zuckung aufschreiben, so erhält man die Spannungscurve s (Fig. 49). Dieselbe ist in ihrem Verlaufe der isotonischen ähnlich. Nur liegt der Zeitpunkt der höchsten Erhebung bei der isometrischen Zuckung früher, als bei der isotonischen. Da der Spannungszeichner nach unten zeichnet, erscheint die isometrische Zuckung, verglichen mit der isotonischen, natürlich umgekehrt, der Gipfel nach unten liegend.

Bei anderen Apparaten, die man zur Vergleichung von Isotonie und Isometrie benutzen kann, z. B. dem alten Fick'schen [1]), dem von Gad und Heymans [2]), sind Längenzeichner und Spannungszeichner auch an einem Stativ angebracht. Sie stehen über einander, der Längenzeichner über dem Spannungszeichner. Der Muskel steht mit seinem oberen Ende fest, mit seinem unteren ist er mit dem Längenzeichner verknüpft: so dient der Apparat zum isotonischen Verfahren. Soll das isometrische Verfahren angewendet

[1]) Siehe A. Fick, Mechanische Arbeit und Wärmeentwickelung bei der Muskelthätigkeit. Leipzig. F. A. Brockhaus. 1882, S. 8.

[2]) Gad und Heymans, Du Bois-Reymond's Archiv f. Physiol. 1890. Supplementband, S. 59.

werden, so wird zwischen Längen- und Spannungszeichner ein Verbindungsstück eingeschaltet; nun wirkt der Muskel am Spannungszeichner; der Längenzeichner wird nur so weit bewegt, als das untere Ende des Muskels sich überhaupt bei Registrirung der Spannung bewegen muss, das ist aber um einen sehr geringen Betrag.

Hat man nicht einen der beschriebenen Apparate zur Verfügung, an denen zum Studium von Isotonie und Isometrie Längen- und Spannungszeichner zusammen angebracht sind, so muss man nach einander mit verschiedenen Apparaten die isotonische und isometrische Zuckung registriren.

Auch bei der Registrirung der isometrischen Zuckung stelle man zwei Versuche genau in derselben Weise nach einander an, um festzustellen, dass sich auch da die Curven genau decken.

Schliesslich bestimme man mit Hilfe der Skala des Spannungszeichners die grösste Spannung, die der Muskel bei der isometrischen Zuckung erreicht hat. In Fig. 49 sind das fast 600 g.

c) Schleuderzuckungen.

Mit dem S. 64 beschriebenen Apparat stellt man einen dritten Versuch an, nachdem man das untere Muskelende wieder frei-

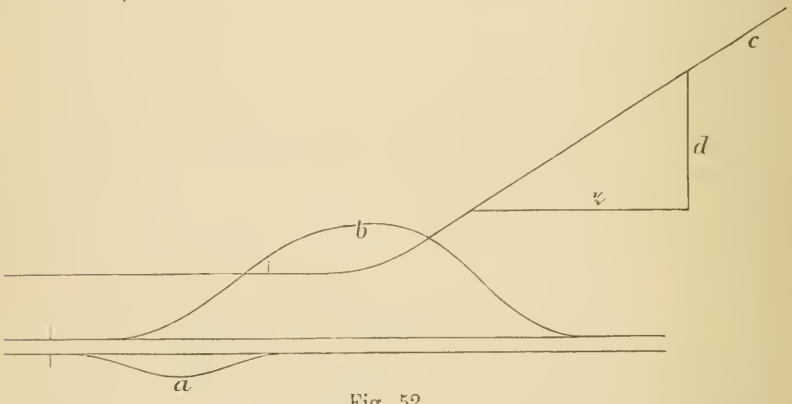


Fig. 52.

gegeben und nun dem Längenzeichner den Schleuderhebel aufgelegt hat, so dass der Muskel letzteren mitzubewegen hat.

Man erhält drei Curven (Fig. 52):

1. die des Schleuderhebels c hebt sich einige Zeit nach dem durch den kleinen senkrechten Strich angegebenen Reizmoment von der Abscisse ab, geht erst langsam, dann steiler an und geht, nachdem der Schleuderhebel sich vom Längszeichner abgehoben hat, mit

zunächst etwa gleichbleibender Steilheit weiter (über die Bedeutung der Linien d und z siehe S. 89):

2. die des Längenzeichners b. Wenn sich der Schleuderhebel abgehoben hat, bewegt der Muskel den Längenzeichner isotonisch weiter und beschreibt eine Curve, die dem zu entsprechender Zeit gezeichneten Stück einer rein isotonischen Curve (in der Figur nicht gezeichnet) ähnlich sieht, sich aber in der Regel nicht genau damit deckt.

Dies letztere beweist, dass die Spannungsänderung während der Zuckung eingewirkt hat auf die inneren Vorgänge im Muskel, die den Verlauf der Zuckung bedingen.

3. die des Spannungszeichners a. Die Curve steigt im Beginn des Versuchs an, nimmt dann wieder ab, und die Spannung ist wieder die alte, wenn der Schleuderhebel sich vom Längenzeichner abgehoben hat. In der Figur ist die Spannungscurve unter der Längencurve gezeichnet, um an Raum zu sparen. Im Original war die Abscissenaxe der Spannungscurve etwa 12 cm über der der Längencurve.

Hat man nur einen Apparat zur Verfügung, an dem der Schleuderhebel allein ist, so stellt man damit den Versuch an. Man erhält dann nur die eine Curve des Schleuderhebels.

Die **Arbeit**, die der Muskel an einem solchen Hebel leistet, kann in folgender Weise gemessen werden:

1. Aus der **Erhebung eines Gewichts** durch den Schwunghebel, und zwar:

a) Das den Muskel spannende Gewicht wird statt an der Rolle des Längenzeichners an einer ebenso grossen angehängt, die an der Axe des Schwunghebels befestigt ist. Dann lässt sich aus der Höhe, bis zu der der Schwunghebel geworfen ist, die Hubhöhe des Gewichts berechnen. Freilich wird dann der Muskel nach Abheben des Schwunghebels vom Längenzeichner ganz entlastet.

b) Nachdem man dem Muskel durch Belastung der Rolle des Längenzeichners die Spannung gegeben hat, die er haben soll, stellt man unter dem Längenzeichner eine feste Unterlage — etwa ein am Stativ angebrachtes verstellbares Querstück — so ein, dass der Längenzeichner ihm gerade aufliegt. Nun belastet man auch den Schwunghebel an seiner Rolle durch ein Gewicht von einer den Versuchsbedingungen angepassten Grösse. Dieses Gewicht kann die Spannung des Muskels nicht mehr vermehren, weil der Längenzeichner

jetzt nicht mehr weiter nach unten durch den belasteten Schleuderhebel gedrückt werden kann. Contrahirt sich nun der Muskel, so bewegt er den Schleuderhebel und hebt dadurch das an ihm hängende Gewicht. Auch hier lässt sich, wie bei a, aus der Höhe, bis zu der der Schleuderhebel geworfen worden ist, die Arbeit berechnen.

Vorausgesetzt ist für die sub a und b beschriebenen Arten der Arbeitsbestimmung, dass der Kreisbogen, den der Schwunghebel zeichnet, nur unmerklich von der senkrechten Geraden abweicht.

c) Nachdem der Schwunghebel vom Längenzeichner sich abgehoben hat und durch den sich contrahirenden Muskel keine Beschleunigung mehr erleidet, hebt er ein passend grosses Gewicht. Das Gewicht, das mit einem möglichst undehnbaren Faden an einem Punkte des Schwunghebels befestigt ist, ruht erst auf einer Unterlage in solcher Höhe, dass der Faden nicht gespannt ist. Der Faden wird erst angezogen und so das Gewicht gehoben, wenn der Schwunghebel sich bei der Zuckung vom Längenzeichner abgehoben hat. Aus der Höhe der Erhebung des Gewichts ergiebt sich die Arbeit. Die Höhe der Erhebung des Gewichts selbst ist aus der Curve des Schwunghebels zu entnehmen, und zwar so: Man stellt den Schwunghebel so hoch ein, dass er gerade noch nicht das Gewicht erhebt; das geschieht etwa dadurch, dass man auf der Seite, auf der nicht der Faden für das Gewicht angebracht ist, ein kleines Uebergewicht anbringt, das den äquilibrirten Schwunghebel auf dieser Seite herabdrückt, aber nicht so schwer ist, dass es das Gewicht auf der anderen Seite heben kann. Nun lässt man bei dieser Stellung des Schwunghebels von seiner Schreibspitze eine horizontale Linie auf der Schreibfläche zeichnen. Der senkrechte Abstand dieser Linie von der höchsten Erhebung der Schwunghebelcurve ist die gesuchte Hubhöhe. Dabei ist eine etwaige Vergrösserung in der Zeichnung zu berücksichtigen.

2. Man berechnet die Arbeit als die **lebendige Kraft des Schleuderhebels**, die demselben durch den zuckenden Muskel ertheilt worden ist.

Die lebendige Kraft ist in diesem Falle:

$$L = \frac{T \cdot \gamma^2}{2},$$

worin T das Trägheitsmoment des Schwunghebels, γ die Winkelgeschwindigkeit, die dem Hebel von dem zuckenden Muskel ertheilt worden ist.

Ueber Bestimmung des Trägheitsmoments der hier gebräuchlichen Schreibhebel siehe ausser in den Lehrbüchern der Physik:

F. Schenck, Pflüger's Archiv für die ges. Physiol., Bd. 51, S. 514.

M. v. Frey, Du Bois-Reymond's Archiv 1893, S. 485.

Die **Winkelgeschwindigkeit** ist: $\gamma = \frac{d}{r \cdot z}$, worin r die Entfernung der Schwunghebelaxe von seiner Schreibspitze (Radius), d der Bogen,

den die Schreibspitze vollführt in der Zeit z. In Fig. 52 giebt die Linie d, die bei feststehender Schreibfläche von dem mit der Hand bewegten Schwunghebel gezeichnet wurde, den Bogen an, den die Schreibspitze in der von der Linie z angegebenen Zeit vollführte. Siehe über diese Art der Bestimmung der Arbeit, sowie über die folgende:

Pflüger's Archiv, Bd. 52, S. 108.

3. **Aus dem Arbeitsdiagramm.** Dasselbe wird so erhalten: Man construirt eine Curve, deren Punkte so bestimmt sind: Die zu einer bestimmten Zeit erreichte Verkürzung des Muskels (entnommen aus der Längenzeichnercurve) wird als Abscisse abgetragen, die zur selben Zeit vorhandene Spannung (entnommen aus der Spannungszeichnercurve) als Ordinate. Damit die Zeichnung nicht zu klein wird, macht man sie in vergrössertem Massstabe. Man stellt eine grosse Zahl solcher Punkte dar und verbindet sie durch eine Curve. Fig. 53 zeigt diese Curve für den Versuch, der die Zeichnung Fig. 52 ergab. Die Vergrösserung ergiebt sich aus den mitgezeichneten Massstäben für Abscisse und Ordinate, in welchen beiden ein Theilstrich gleich 1 mm des Originals gesetzt ist. Nicht berücksichtigt ist bei der Darstellung des Diagramms die Arbeit, die der Muskel verrichtet hat durch Erhebung des an der Rolle des Längenzeichners angebrachten, den Muskel spannenden Gewichts, weil diese Arbeit bei der Wiederverlängerung rückgängig gemacht wird und in der Bewegung des Schwunghebels also nicht enthalten ist. Nun misst man die Fläche aus, die von der Curve und der Abscissenaxe eingeschlossen wird. Am leichtesten kann man das machen, wenn man die Curve auf Millimeterpapier trägt und die Zahl der eingeschlossenen Millimeter abzählt. Nun muss man noch wissen, wie viel Millimeter wirklicher Verkürzung des Muskels 1 mm der Abscisse des Diagramms entspricht, und wie viel Gramm Spannung 1 mm der Ordinate. Das ist leicht unter Berücksichtigung der Vergrösserungen und mit Hilfe der Skala des Spannungszeichners festzustellen.

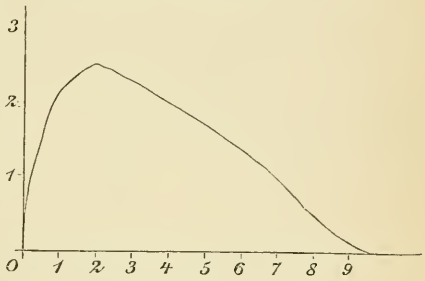


Fig. 53.

Das Product aus der Zahl, die den Flächeninhalt des Diagramms im Quadratmillimeter angiebt, der Zahl, die die Verkürzung in Millimeter für 1 mm Abscisse angiebt, und der Zahl, die die Spannung in Gramm für 1 mm Ordinate giebt, ist die Zahl für die geleistete Arbeit in Gramm-Millimeter.

Zum Studium dieses Gegenstandes sei noch empfohlen:

A. Fick, Mechanische Arbeit und Wärmeentwickelung bei der Muskelthätigkeit. Leipzig 1882.

Von Blix ist ein Apparat angegeben worden, der sogenannte „Indicator", mittels dessen man das Diagramm direct durch den Muskel zeichnen lassen kann. Siehe Skandinavisches Archiv für Physiologie, Bd. III.

Die bisher angestellten Versuche über den Verlauf der Zuckung kann man noch in folgender Weise variiren.

1. Man kann bei **verschiedenen Belastungen** des Längenzeichners den Muskel eine Reihe isotonischer Zuckungen oder bei verschiedenen Anfangsspannungen isometrische Zuckungen ausführen lassen und diese mit einander vergleichen.

2. **Ueberlastungsverfahren.** Man stellt unter den Längenzeichner bei unbelastetem Muskel eine feste Unterlage ein, so dass der Zeichner ihr gerade aufliegt. Nun hängt man Gewichte an die Rolle des Zeichners an. Dadurch wird die Spannung des Muskels zunächst nicht vermehrt, der Zeichner nur fester gegen die Unterlage angedrückt. Wenn der Muskel sich nun contrahiren will, so ändert er erst seine Spannung — dieselbe wird vermehrt, bis sie gleich dem angehängten Gewicht ist —, alsdann verkürzt sich der Muskel isotonisch. Der Längenzeichner legt sich schliesslich der Unterlage wieder auf und danach wird die Spannung wieder geringer, bis sie am Ende der Zuckung wieder gleich Null ist. Auch diese Ueberlastungszuckungen kann man bei verschiedener Belastung des Zeichners an der Rolle anstellen. Wendet man den S. 64 beschriebenen Apparat an, so giebt der Spannungszeichner zugleich Bilder von dem Verlauf der Spannungsänderung.

3. **Aenderung des Trägheitsmoments des Schwunghebels.** Durch Anhängen gleich grosser Gewichte beiderseits, gleich weit von der Axe entfernt, kann man das Trägheitsmoment des Schleuderhebels ändern. Es dienen dazu Stifte, die am Schleuderhebel gleich weit von der Axe angebracht sind und an denen man die Gewichte mittelst Fäden aufhängen kann. Bestimmung der Arbeitsleistung ergiebt, dass die geleistete Arbeit zunächst mit der Vergrösserung des Trägheitsmoments wächst, dann aber wieder kleiner wird. Die Curve des Spannungszeichners nähert sich um so mehr der isometrischen, je grösser das Trägheitsmoment des Schwunghebels ist.

4. Man kann den Schwunghebel so einstellen, dass er nicht gleich im Beginn der Verkürzung, sondern erst später mitbewegt wird, wenn der Längenzeichner so hoch gehoben ist, dass er gegen den Schwunghebel anstösst. Die Höhe der Einstellung des Schwunghebels kann man variiren. Zur bequemen Einstellung dient ein Widerlager, das die Bewegung des Schwunghebels in einer Richtung hemmt und durch Schraube verstellbar ist.

5. Wie man früher nur die Hubhöhe bei verschiedener Reizstärke verzeichnet hat, kann man jetzt den ganzen **Zuckungsverlauf bei verschiedener Reizstärke** auf die bewegte Schreibfläche registriren, sowohl bei isotonischem als bei isometrischem Verfahren. Bei isotonischen Zuckungen nimmt man wahr, dass der Zeitpunkt der höchsten Erhebung, die sogenannte Gipfelzeit, um so früher

fällt, je stärker der Reiz. Bei isometrischen Zuckungen zeigt sich das auch zuweilen, aber nicht immer.

d) Einfluss der Temperatur des Muskels auf den Ablauf der Zuckung.

Versuchsanordnung. Reizapparat und Schreibfläche wie beim vorigen. Der Muskel (Gastrocnemius oder Doppelsemimembranosus und -gracilis, lange Anordnung) bewegt nur einen isotonischen Längenzeichner. Belastung ca. 10 g. Vergrösserung beim Gastrocnemius etwa sechsfach, beim Semimembranosus und -gracilis etwa zweifach zu wählen. Das obere Ende ist fest. Als feuchte Kammer benutzt man einen Blechhohlcylinder H mit doppeltem Mantel M; derselbe ist am unteren Ende verschlossen, bis auf ein kleines Loch für einen Faden F, der das untere Muskelende mit dem Zeichner verbindet, oben dagegen offen. Von oben ragen der Muskelhaken für das obere Muskelende, ein an dem Stativ durch Muffe und Korkzange passend befestigtes Thermometer h und die zuleitenden Drähte d_1 und d_2 der secundären Spirale, die den Muskelenden direct angelegt sind, in die Kammer hinein. Ist der Muskel mit den Drähten in die Kammer versenkt und das Thermometer hineingestellt, so wird die obere Oeffnung mit Watte W verstopft. Die Temperatur in der Kammer kann variirt werden durch Eingiessen von beliebig temperirtem Wasser in den Hohlraum M des doppelten Mantels, der oben offen ist. Zum Ablassen des Wassers dient eine Oeffnung am unteren Ende des Mantels, an der ein Gummischlauch s angebracht ist. Der Gummischlauch wird mit einer Klemme Kl zugeklemmt, wenn kein Wasser abfliessen soll. Die Innenwand der Kammer ist auch hier mit Fliesspapier beklebt, das befeuchtet wird. Der Faden zwischen unterem Muskelende und Angriffspunkt am

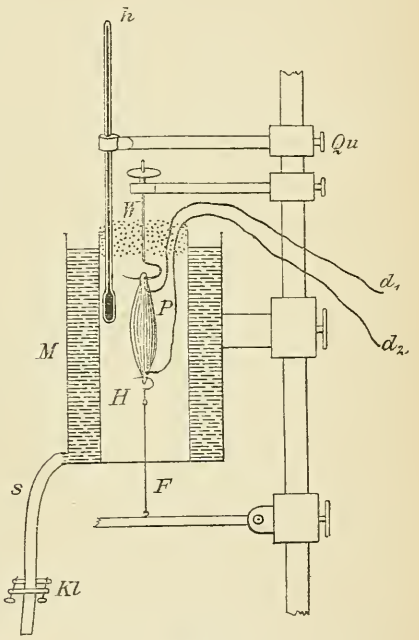


Fig. 54.

Längenzeichner muss so lang sein, dass die Bewegung des Längenzeichners nicht durch die Kammer gehemmt wird.

Man beginnt nach der Aufstellung den Versuch, indem man Eiswasser in den Mantelhohlraum giesst und noch einige Eisstücke hinein thut. So erhält man eine Abkühlung der Luft in der feuchten Kammer und auch des Muskels bis auf wenig über 0°. Man wartet, nachdem das Thermometer nicht mehr sinkt, noch etwa 5 Minuten, damit der Muskel möglichst die Temperatur der feuchten Kammer annimmt. Nun lässt man den Muskel eine Zuckung in bekannter Weise aufzeichnen. Dann hebt man die Eisstücke heraus und lässt das Wasser abfliessen. Die Temperatur der Kammer steigt wieder. Während des Ansteigens verzeichnet man einige Zuckungen. Nun wird warmes Wasser zugegossen, die Temperatur steigt noch höher, man lässt wieder zeichnen. So geht man langsam mit der Erwärmung des Muskels weiter bis zu etwa 50°. Man erhält so eine Curvenschaar, die Folgendes erkennen lässt: Mit wachsender Temperatur nimmt die ganze Zuckungsdauer und auch das Latenzstadium immer mehr ab. Die Hubhöhe nimmt von den niedrigsten zulässigen Temperaturen an zuerst bis etwa 4° zu, dann ab bis etwa 19°, dann wieder zu bis 33°, dann wieder ab. Bei etwa 36° ist der Muskel ganz unerregbar, so dass er nach der Reizung den Schreibhebel gar nicht mehr bewegt. Ausser den Veränderungen des Zuckungsverlaufs sind aber noch andere Längsänderungen wahrzunehmen, die den ruhenden Muskel betreffen. Diese sind sehr gering, oft kaum wahrzunehmen bei Temperaturen bis zu etwa 30°; es ist da der Muskel um so kürzer, je höher die Temperatur. Zwischen 30 und 40° nimmt aber die Verkürzung des ruhenden Muskels stärker zu und geht schliesslich über in einen Zustand bleibender Verkürzung, die auch bei Abkühlung nicht mehr schwindet und grösser ist als bei Einzelzuckung. Der Muskel sieht dann weiss aus und ist brüchig: das ist die sogenannte Wärmestarre.

Näheres über den Einfluss der Temperatur auf den Muskel siehe Gad und Heymans, Du Bois-Reymond's Archiv 1890. Supplementband.

e) Einfluss der Spannung auf den Ablauf des Contractionsprocesses. Anschlagzuckungen.

Reiz- und Schreibapparat wie bei den früheren Versuchen über den Ablauf der Zuckung. Es ist hier aber ein starker Längenzeichner erforderlich, der nicht leicht durchzubiegen ist.

Das untere Ende des Muskels bewegt einen isotonischen

Zeichner; das obere wirkt, wenn der Apparat dazu zur Verfügung steht, am Spannungszeichner, wenn nicht, so wird es festgestellt. Ein horizontal stehendes, an dem Muskelstativ anzubringendes Querstück kann in verschiedener Höhe über dem Längenzeichner festgestellt werden, so dass es die Verkürzung des Muskels hemmt und zwar um so weniger, je höher es über dem Längenzeichner steht. Die Stelle des Schreibhebels, die an den Anschlag anzuliegen kommt, muss möglichst nahe am Angriffspunkt des Muskels liegen, damit der Zeichner nicht niedergebogen oder durchbrochen wird. Wenn man eine solche Anschlagszuckung vom Muskel ausführen lässt, so wird erst gerade wie bei Isotonie der Längenzeichner nach aufwärts bewegt, bis er an das Querstück anschlägt. Dann wird der Längenzeichner gegen den Anschlag angedrückt und zeichnet eine gerade horizontale Linie. Während dessen ändert sich aber, wie der Spannungszeichner angiebt, die Spannung, sie nimmt erst zu, dann wieder ab. Ist die Spannung wieder dieselbe wie im Anfang der Zuckung, so löst sich der Längenzeichner wieder vom Anschlag ab und sinkt nach unten zur Abscissenaxe zurück.

Man stelle eine Reihe von Anschlagzuckungen bei verschiedener Höhe des Anschlags an.

Man kann sich die Curve des Längenzeichners bei der Anschlagzuckung aus einer rein isotonischen so entstanden denken, dass eine der Abscissenaxe parallele Linie in der dem Anschlag entsprechenden Höhe durch das Areal der isotonischen Curve gezeichnet und alles, was von der isotonischen Curve über jener Linie liegt, weggedacht wird. Nach dieser Construction wird das Endstück der Anschlagzuckung, in dem der Längenzeichner sich wieder nach abwärts bewegt, genau mit dem entsprechenden Stück einer zum Vergleich gezeichneten, rein isotonischen Curve zusammenfallen. Das würde in der That zu erwarten sein, wenn der Verlauf des Contractionsvorgangs nicht durch die Spannungsänderung in der Mitte der Zuckung beeinflusst würde.

Thatsächlich fallen die Endstücke der Anschlagzuckung selten mit dem der isotonischen zusammen, sie gehen meistens darüber hinaus, fallen später.

Wir wollen nun einige solcher Anschlagzuckungen bei verschiedenen Temperaturen aufzeichnen und mit isotonischen vergleichen. Da die zur Aenderung der Temperatur dienende feuchte Kammer die Verwendung des Spannungszeichners unmöglich macht, so lassen wir diesen weg und stellen das obere Ende des Muskels fest.

Die ganze Anordnung wird genau so getroffen, wie in dem Versuche, in dem wir isotonische Zuckungen bei verschiedenen Temperaturen studirten, nur wird jetzt am Apparat noch der Anschlag angebracht.

Nun kühlen wir erst den Muskel mit Eiswasser ab. Wenn wir so lange gewartet haben, dass er die niedrige Temperatur angenommen haben wird, lassen wir erst eine isotonische Zuckung zeichnen, dann eine Anschlagzuckung, bei der der Anschlag etwa in der Mitte der ganzen Höhe der isotonischen Zuckung erfolgt, und schliesslich wieder eine isotonische Zuckung. Es ergiebt sich, dass das Endstück der Anschlagzuckungscurve beträchtlich später als das entsprechende Stück der isotonischen fällt. Der Versuch kann nur dann als gelungen bezeichnet werden, wenn die beiden isotonischen Curven ganz oder fast ganz zusammenfallen. Dies ist nicht immer der Fall, weil die vermehrte Spannung in der Anschlagzuckung den Muskel in so verändertem Zustand zurücklässt, dass seine isotonische Zuckung nunmehr anders verläuft. Wenn die isotonischen Curven nicht zusammenfallen, so wiederholt man den ganzen Versuch.

Alsdann wird das Eiswasser aus dem Mantelhohlraum der feuchten Kammer abgelassen und nun warmes Wasser von etwa 33—35° C. eingegossen. Man warte nun wieder, bis der Muskel die neue Temperatur angenommen haben dürfte; er kommt etwa auf 27—30°. Nun wird derselbe Versuch wiederholt. Es ergiebt sich da, dass das Endstück der Anschlagzuckungscurve früher als das der isotonischen fällt.

Der Versuch lehrt, dass vermehrte Spannung zwei entgegengesetzte Einflüsse auf den Ablauf der Contraction hat, einen den Zustand der Verkürzung hemmenden, einen fördernden. Ersterer überwiegt bei hoher, letzterer bei niedriger Temperatur.

f) Wirkung des Veratrins.

Man bereite sich eine Lösung von 1 Theil Veratrin auf 1000 Theile Wasser und injicire davon einem Frosche in bekannter Weise etwa 1 ccm. Wenn die Vergiftungserscheinungen: träge Bewegung des Frosches eingetreten sind, macht man ein Muskelpräparat und zeichnet die Zuckungscurve in derselben Art auf, wie in den soeben beschriebenen Versuchen. Die Curve, die man erhält, unterscheidet sich von den bisher erhaltenen dadurch, dass sie viel höher hinaufgeht und sehr viel länger dauert, als nach den am unvergifteten Muskel erhaltenen erwartet werden durfte. Das Veratrin bewirkt also, dass der Muskel in eine dem Tetanus ähnliche Dauercontraction geräth.

Für das Studium der Wirkung von Giften ist auch folgende Anordnung zu empfehlen (Fig. 55): Der Muskel ist mit seinem unteren Ende auf dem Boden eines Glasgefässes befestigt (eine umgestülpte Arzneiflasche A, der der Boden ausgeschlagen ist und die in einem in ihrem Halse befindlichen Kork K einen Haken zur Befestigung des Muskelendes trägt). Das obere Muskelende ist durch einen Faden, der aus dem Gefäss herausragt, mit einem isotonischen Hebel verbunden. Die Last muss an dem Muskel nach oben wirken; das erreicht man so, dass man bei dem bisher beschriebenen Hebel den Faden über der Rolle an der Axe anders

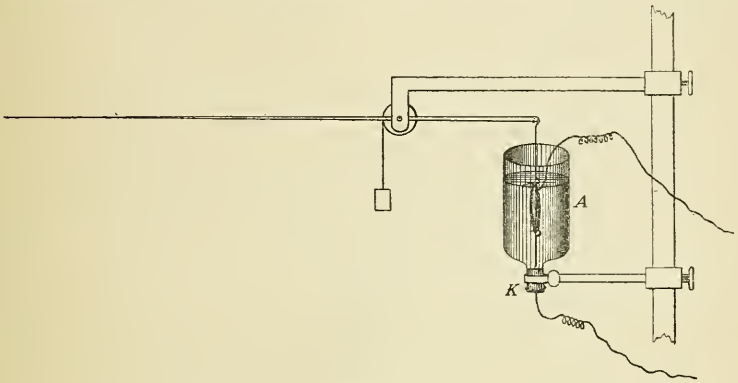


Fig. 55.

herum windet, so dass das angehängte Gewicht die Zeichenspitze nach oben zieht, oder durch Verwendung eines zweiarmigen Hebels, wie die Figur zeigt. Alles Weitere ergiebt sich aus der Figur. Die Giftlösung wird in das Glas eingegossen, nachdem der Muskel darin befestigt ist. Von Veratrin verwendet man dazu eine Lösung, die 1 Theil Veratrin in 5000 Theilen physiologischer Kochsalzlösung enthält. Man wartet danach einige Minuten, bis die Giftwirkung eingetreten sein dürfte, und macht dann den Reizversuch.

g) Ermüdung und Erholung.

Wir untersuchen nun, ob Zuckungsverlauf und Hubhöhe sich ändern, wenn wir eine grössere Zahl von Zuckungen nach einander durch denselben Muskel anstellen lassen.

Apparate. Reizapparat: Schlitteninductorium, Tauchelement. Die zuleitenden Drähte der secundären Spirale direct dem Muskel angelegt; in der secundären Leitung Du Bois-Schlüssel als Nebenschliessung. In der primären Leitung ist der mit Metronom zu

schliessende resp. öffnende Contact (Beschreibung S. 76) eingeschaltet, der es gestattet, ohne weiteres Zuthun den Strom oft in regelmässigen Zwischenräumen zu schliessen und zu öffnen. Das Metronom wird so gestellt, dass etwa alle Secunden eine Oeffnung erfolgt. Die Rollen werden so gestellt, dass eine Schliessungszuckung gerade nicht zu Stande kommt, sondern nur Oeffnungszuckungen.

Schreibapparate: Schreibfläche: durch Uhrwerk bewegte Trommel (Baltzar's Kymographion oder ein entsprechender anderer Apparat). Der Gang der Trommel wird so langsam gestellt, dass die Zeichnungen der einzelnen Zuckungen gerade noch bequem von einander unterschieden werden können. Eine passende Geschwindigkeit ist die bei Stellung beider Wechselräder rechts und der Frictionswelle etwa in der Mitte zwischen den beiden äussersten Stellungen. Von Zeit zu Zeit werden einzelne Zuckungen der ganzen Reihe bei einem bestimmten schnelleren Gange der Trommel registrirt, so dass man nun den ganzen Verlauf der Curve besser beobachten kann. Für den schnelleren Gang stellt man das Uhrwerk bequem mit Hilfe des oberen Wechselrades ein, das nach links verstellt wird, nicht durch Verschieben der Frictionswelle. Ein Zeitschreiber, der es gestattet, bei dem schnellen Gang der Trommel den zeitlichen Verlauf der Zuckung genau festzustellen, ist nicht nöthig, da er durch die regelmässige Aufeinanderfolge der einzelnen Zuckungen in bestimmten Intervallen ersetzt wird.

Schreibhebel. Einfacher isotonischer Hebel. Vergrösserung der Hubhöhe etwa sechsfach.

Präparat. Gastrocnemius.

Anstellen des Versuchs. Nachdem die Aufstellung der Apparate erfolgt ist und Metronom und Kymographion in Gang gesetzt sind, wird der Tetanisirschlüssel geöffnet und die Zuckungen aufgezeichnet: von Zeit zu Zeit wird die Trommel auf schnelleren, dann wieder auf langsameren Gang gesetzt. Ist die Trommel einmal umgelaufen, so wird sie gehoben u. s. f. Resultat: die Hubhöhe nimmt im Anfang mit der Zahl der Zuckungen etwas zu — diese Erscheinung wird Treppe genannt —, dann bleibt sie einige Zeit merklich gleich, dann nimmt sie continuirlich bis zur völligen Unerregbarkeit des Muskels ab. Die Zuckungsdauer nimmt mit der Zahl der Zuckungen immer zu. Sie ist schliesslich so gross, dass der Muskel zwischen den einzelnen Reizen nicht mehr ganz erschlafft und dass sich eine scheinbare dauernde Verkürzung — eine sogenannte Contractur — einstellt.

Wenn die Zuckungshöhe schon beträchtlich abgenommen hat, schliesse man für einige Zeit den Tetanisirschlüssel, so dass der Muskel sich etwas ausruhen kann. Dann wird der Schlüssel wieder geöffnet: die Hubhöhe ist alsdann wieder grösser, die Zuckungsdauer etwas kleiner als bei der letzten Zuckung vor Schliessung des Tetanisirschlüssels. Sehr schnell nimmt danach allerdings wieder Hubhöhe ab, Zuckungsdauer zu. Dies Experiment kann man mehrmals machen.

In der Zeit, wo der Muskel sich ausruhen kann, lässt die scheinbare Dauerverkürzung nach und der Muskel geht in der Zeit der Ruhe allmählich wieder bis zu seiner alten Länge zurück.

Anhang. Wiederholung des Versuchs der directen Reizung des Muskels mit dem constanten Strom. Graphische Registrirung.

Die Versuchsanordnung entspricht genau der S. 39 beschriebenen, nur wird der Muskel, statt in den Muskeltelegraphen befestigt zu werden, mit einem isotonischen Schreibhebel (Vergrösserung und Spannung wie in früheren Versuchen) verknüpft, der auf die schnell rotirende Trommel des Kymographions zeichnet (unteres Rad rechts, oberes links, Frictionswelle nahe der Stellung am weitesten oben). Der constante Strom wird etwa 2″ geschlossen gehalten. Man nimmt nun deutlicher die geringe Dauerverkürzung des Muskels während der Durchleitung des Stromes wahr, ferner die Zuckung bei Schliessung, zuweilen auch bei Oeffnung des Stromes.

IX. Kapitel.

Superposition der Zuckungen. Tetanus.

Apparate, Präparat und **Aufstellung** wie bei dem Versuch über Ermüdung, nur ist in dem primären Stromkreis der Metronomcontact nicht eingeschaltet, sondern der S. 48 ff. beschriebene acustische Stromunterbrecher, oder der Interruptor von Kronecker, oder der von Helmholtz angegebene Pendelunterbrecher, die es gestatten, nach einander mehrere Reize in kürzeren, und zwar beliebig zu variirenden Zeiträumen dem Muskel zu appliciren.

Um die Zahl der Reize festzustellen, was nicht immer mit Hilfe der vom Muskel gezeichneten Curve möglich ist, schaltet man

ausserdem in den primären Stromkreis einen der bei der Zeitschreibung beschriebenen elektrischen Uebertragungsapparate ein und stellt dessen Zeichenfeder unter der Schreibspitze des Längenzeichners auf; es wird dann die Zahl der Unterbrechungen und damit auch der Reize mit aufgezeichnet unter der vom Muskel gelieferten Curve.

Die Umdrehungsgeschwindigkeit der Trommel wird so schnell genommen, dass der ganze Zuckungsverlauf gut zu erkennen ist (unteres Wechselrad rechts, oberes links, Frictionswelle in Mittelstellung).

Anstellen des Versuchs. Nachdem der Unterbrechungsapparat in einen solchen Gang gesetzt ist, dass etwa 8—10 Reize in der Secunde erfolgen, setzt man die Trommel in Bewegung und öffnet für kurze Zeit — etwa 1—2 Secunden — den Tetanisirschlüssel. Der Muskel zeichnet eine Reihe ganz von einander getrennter Einzelzuckungen. Danach hält man die Trommel wieder an. Nun verstellt man den Unterbrechungsapparat so, dass die Reizfrequenz grösser wird, und macht einen zweiten Versuch u. s. f., bis zu den grössten möglichen Reizfrequenzen.

Resultat. Wenn die Reize so schnell auf einander folgen, dass die Zuckungen nicht mehr ganz getrennt von einander sind, dann setzen sie sich auf einander auf, sie superponiren sich in der Weise, dass die zweite höher hinaufgeht als die erste, die dritte höher als die zweite u. s. f. Bei etwa zwanzig Reizen in der Secunde sind die einzelnen Zuckungen nicht mehr zu erkennen, der Längenzeichner zeichnet eine glatte Curve. Schliesslich erreicht der Muskel ein Verkürzungsmaximum, über das hinaus weitere Reize ihn nicht mehr weiter verkürzen können: Tetanus.

Zum genaueren Studium der Gesetze der Summation empfiehlt es sich, den Muskel nur mit zwei Reizen gleich nach einander zu reizen und seine Zuckungen auf eine schnell bewegte Schreibfläche (Cylinder-, Feder- oder Pendelmyographion) aufzuzeichnen. Zu dem Zwecke werden an dem Stativ der Schreibfläche nicht, wie früher, bloss einer, sondern zwei Federcontacte angebracht, die durch die Bewegung der Schreibfläche mittels eines oder zwei an ihr angebrachten Stifte nach einander geöffnet werden. Die beiden Contacte müssen so gegen einander verstellbar sein, dass die Zeit, die zwischen beiden Oeffnungen vergeht, verändert werden kann.

Jeder Reizcontact ist in eine besondere Leitung mit primärer Spirale und Tauchelement eingeschaltet. Die beiden primären Spiralen werden zu einer secundären Spirale so gestellt, dass die Oeffnung jedes einzelnen primären Stromes in der secundären Spirale einen Inductionsstrom von solcher Stärke erzeugt, dass eine maximale Zuckung resultirt. Man kann dies leicht mit zwei Du Bois-Reymond'schen Schlitten machen: Man verbindet den primären Strom des einen mit dem einen Reizcontact und stellt die secundäre Rolle für Maximalzuckung ein. Von dem zweiten entfernt man die secundäre Rolle ganz und stellt ihn dann auf den Kopf in der Art, dass seine primäre Rolle der secundären Rolle des ersten gegenübersteht und zwar auf der der primären Spirale des ersten abgewendeten Seite. Man verbindet nun auch die primäre Rolle des zweiten Apparats mit Tauchelement und dem zweiten Reizcontact und verschiebt dann die primäre Rolle des zweiten gegen die secundäre des ersten so lange, bis Maximalzuckung resultirt.

Unter Umständen ist es dabei vortheilhafter, statt des einfachen Muskelpräparats ein Nerv-Muskelpräparat zu nehmen, dessen Nerven man reizt, weil man da leichter und bei grösserem Rollenabstand Maximalzuckung erhält. Das Präparat bewegt einen einfachen isotonischen Längenzeichner. Spannung und Vergrösserung wie in früheren Versuchen.

Hat man die Aufstellung so gemacht, so lasse man erst eine Reizung von dem ersten Contact allein erfolgen — der zweite ist während dieses ganzen Versuchs offen — und verzeichne die Zuckung, dann bei offenem ersten Contact eine vom zweiten Contact allein, und dann eine Doppelzuckung von beiden Contacten gleich nach einander. Solche Serien — immer erst zwei einzelne, dann eine Doppelzuckung — registrire man nach einander mehrere bei verschiedener Entfernung der Contacte von einander.

Aus den so erhaltenen Curven lässt sich ausser dem früher Gesagten noch Folgendes entnehmen: 1. Die grösste Erhebung der Doppelzuckung findet man dann, wenn die zweite Zuckung im letzten Drittel des aufsteigenden Schenkels der ersten Curve beginnt. 2. Die Gipfelzeit der zweiten Zuckung, d. i. der Zeitmoment der höchsten Erhebung, fällt bei der Doppelzuckung früher als bei der einzelnen vom zweiten Contact ausgelösten Zuckung.

Eine andere Vorrichtung, die zweckmässig zum Studium der Summation verwendet werden kann, ist folgende: An der bewegten Schreibfläche ist isolirt befestigt eine feine Metallspitze, die über ein federndes Drahtstückchen während

der Bewegung der Fläche quer hinübergleitet und durch diesen Contact für kurze Zeit einen Strom schliesst und gleich darauf wieder öffnet. Dieser Contact ist in den primären Kreis eines Inductionsapparats eingeschaltet. Es wird also dadurch der primäre Kreis für kurze Zeit geschlossen, die beiden in der secundären Rolle erzeugten Inductionsschläge werden dem Präparate zugeführt. Diese beiden Schläge folgen so schnell auf einander, dass man sie als einen momentanen Reiz betrachten kann.

Solche Drahtstücke, über die die Metallspitze hinweg gleitet, kann man nun mehrere neben einander stellen, so dass die Spitze über alle nach einander gleitet und jedes kurze Zeit berührt. Von jedem Drahtstückchen führt eine besondere Leitung nach der einen Polschraube (a Fig. 23) der primären Spirale. Von der Metallspitze aber geht die Leitung zunächst zum Element und dann zur anderen Polschraube b der primären Spirale. Ist die Schreibfläche eine rotirende Trommel, so wird die Verbindung der Schreibspitze mit der Leitung zur Spirale hergestellt durch eine mit Quecksilber gefüllte feststehende kreisförmige Rinne, in der sich bei der Bewegung der Trommel das Ende eines mit der Metallspitze verbundenen kurzen Drahtstückes dreht (ähnlich dem Schleifcontact des v. Fleischl'schen Rheonoms). In jede der Leitungen von den Drahtstücken zu der Spirale ist ein Schlüssel eingeschaltet. Man schliesst bei den Versuchen jeweils die Schlüssel, die zu den Drahtstücken gehören, von denen aus man Erregung auslösen will.

Man hat also hier nicht für jeden Reizcontact eine besondere primäre Spirale nöthig, sondern für alle nur eine einzige.

Die Versuche über Summation werden mit dieser Vorrichtung im Uebrigen gerade so angestellt, wie die eben beschriebenen.

Ein solcher Apparat, mit drei Reizcontacten versehen, ist beispielsweise das Rheotom von Schönlein (s. S. 141); dasselbe lässt sich zum Studium der Summation benutzen, wobei selbstverständlich die Vorrichtung, die zur Oeffnung der Nebenleitung für den Nerv- oder Muskelstrom dient, nicht in Gebrauch kommt und daher ausser Acht zu lassen ist.

Andere Apparate zum Studium der Summation siehe in den S. 50 und 51 citirten Abhandlungen.

X. Kapitel.

Dehnungscurve des ruhenden und thätigen Muskels.

Wenn man an das untere Ende eines aufgehängten Muskels ein Gewicht anhängt, so wird der Muskel gedehnt, verlängert. Die Dehnungscurve dient zur Veranschaulichung der Abhängigkeit der Länge des Muskels von der Belastung. Man erhält sie beim ruhenden Muskel so: Der Muskel wird mit verschiedenen Gewichten nach einander belastet und die Länge, die er jedesmal annimmt, gemessen. Dann trägt man in einem rechtwinkligen Coordinatensystem die Belastungen als Abscissen, die Längen als Ordinaten ab und verbindet die erhaltenen Punkte durch eine Curve. Es sei

z. B. a Fig. 56 die Länge für die Belastung 0, b für 10 g, c für 20 g u. s. f., dann erhalte ich nach der eben beschriebenen Construction die Linie A B als Dehnungscurve.

Man kann hiermit die Construction der Dehnungscurve des thätigen Muskels gleich verbinden. Man tetanisirt nämlich bei den verschiedenen Belastungen den Muskel durch directe Reizung mit Inductionsströmen in bekannter Weise ad maximum und misst jedes Mal die Länge, die der Muskel im Zustand der grössten Verkürzung hat. Die erhaltenen Längen benutzt man wie die des ruhenden zur Construction der Curve und erhält etwa eine solche, wie sie die gestrichelte Linie C D in Fig. 56 zeigt.

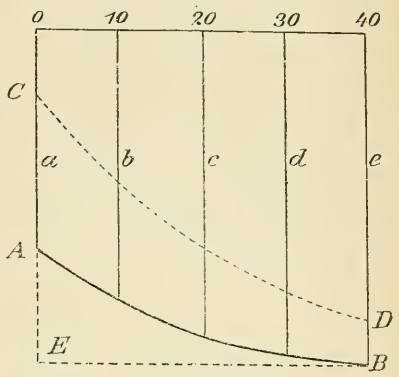


Fig. 56.

Statt die Länge des Muskels in diesen Fällen direct mit Zirkel oder Massstab zu messen, kann man sie auch feststellen dadurch, dass man den Muskel mit einem Schreibhebel verbindet, den Stand der Schreibspitze bei jeder Belastung sowohl für ruhenden als thätigen Muskel auf einer um einen kleinen Betrag an der Spitze vorbeibewegten, im Uebrigen feststehenden Schreibfläche markirt, und die Marken unter Berücksichtigung einer etwaigen Vergrösserung durch den Hebel zur genauen Messung der Längen benutzt.

Bequemer ist es, die Dehnungscurve direct durch den Muskel zeichnen zu lassen. Dies geschieht mit Hilfe des **Blix'schen Myographions.** Das **Princip des Apparats** ist folgendes:

Der Muskel ist verknüpft mit einem stählernen Zeichenhebel, an dem die Belastung aber nicht festgebunden ist, sondern durch einen verschiebbaren Bügel angehängt ist. Steht der Bügel auf der Axe des Hebels, so ist das Moment der Last und folglich die Spannung des Muskels Null, und es wird um so grösser, je weiter man den die Last tragenden Bügel von der Axe auf dem Hebel fortrückt. Ist er bis zum Angriffspunkt des Muskels geschoben, so ist die Spannung des Muskels gerade der Last gleich. Es wird sich der Muskel also beim Verschieben des Bügels von der Axe nach dem Anknüpfungspunkt dehnen. Ist nun die Platte, auf der gezeichnet wird, mit dem Bügel in solcher Verbindung, dass sie

sich genau ebenso wie dieser wagrecht verschiebt, so muss auf ihr in einem Zuge die Dehnungscurve entstehen.

Beim Apparat selbst ist der Muskelhalter mit dem Hebel zum verschiebbaren Stück gemacht. SS Fig. 57 ist ein Schlitten, der sich zwischen den Schienen R R und $R_1 R_1$ hin- und herschieben lässt. Der Schlitten trägt bei a die Axe des Hebels a b und auf einem seitlichen Ansatzstücke A den Muskelhalter h. Das andere Ende des Muskels ist bei b mit dem Hebel verknüpft. Die Belastung bildet das Gewicht P, das mittels des Rähmchens r auf den Hebel drückt. Dies Rähmchen läuft nach oben und nach unten in die steifen Stäbchen f f aus, die durch zwei Paare von Stiften t t und $t_1 t_1$ so geführt werden, dass das System f r f sich nur auf und

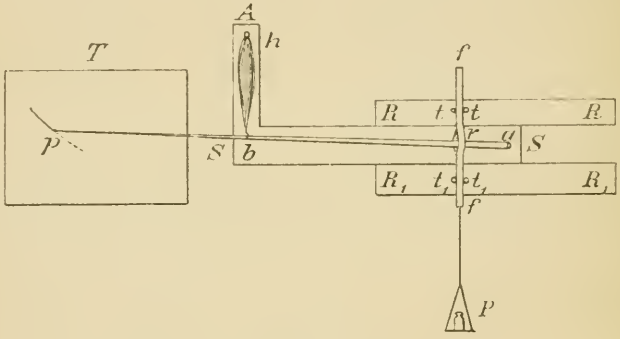


Fig. 57.

ab, nicht aber nach rechts oder links bewegen kann. Ist jetzt der Schlitten so weit wie möglich nach links geschoben, so dass die Axe a gerade im Rähmchen steht — dies ist nämlich durch eine eigenthümliche Knickung der Axe ermöglicht —, so ist die Spannung des Muskels Null, und wenn man jetzt den Schlitten nach rechts zieht, so dass immer weiter von a entfernte Punkte des Hebels den Druck von P aufnehmen, so wächst die Spannung des Muskels stetig an. Die Zeichenspitze p zeichnet auf der festliegenden, mit berusstem Papier überzogenen Glasplatte T die Dehnungscurve p des Muskels in stetigem Zuge. Ohne weitere Correctionen kann die erhaltene Curve als Dehnungscurve in rechtwinkligen Ordinaten allerdings nur gelten, wenn die Drehung des Hebels sich in so engen Grenzen hält, dass der vom Zeichenstift gezeichnete Kreisbogen noch als ein zur Verschiebungsrichtung senkrechter gerader Strich gelten kann. Dies kann man bei der

wirklichen Anwendung in der That immer sehr annäherungsweise erreichen.

Versuchsanordnung. Reizapparat. Schlitteninductorium mit Wagner's Hammer, Tauchelement im primären Kreis. Du Bois-Schlüssel als Nebenleitung im secundären Kreis. Die Enden der secundären Leitung werden dem Muskel direct angelegt.

Präparat. Doppelsemimembranosus und -gracilis, kurze Anordnung oder Gastrocnemius. Man befestigt das Präparat im Blix-schen Myographion an den daran befindlichen Muskelhaken und bindet die Muskelenden hier noch mit Fäden fest, um ein Abgleiten derselben zu verhindern.

Damit der Hebel von dem Gewicht nicht zu weit gezogen wird, ist durch einen am Schlitten selbst angebrachten Zapfen, an den er sich anlehnen kann, seine tiefste Stellung bestimmt. Man muss nun das Präparat so einstellen, dass die Dehnungscurve über die Linie fällt, die der Hebel bei seiner tiefsten Stellung zeichnet. Das geschieht durch passende Einstellung des Muskelhalters h mittels einer Schraube. Das spannende Gewicht muss den Hebel gerade gegen den erwähnten Zapfen andrücken, wenn es dicht am Angriffspunkt b wirkt. Für den Doppelsemimembranosus etc. nimmt man 2 kg, für den Gastrocnemius 1 kg.

Ausführung des Versuchs. Man zeichne, von der grössten Spannung bis zur Spannung 0 gehend, eine Dehnungscurve sowohl des ruhenden Muskels, als auch des nach Oeffnung des Du Bois-schen Schlüssels tetanisirten auf. Man erhält ein Bild, das den Curven der Fig. 56 entspricht, A B für den ruhenden, C D für den thätigen Muskel. Die Dehnungscurve des ruhenden Muskels fällt weniger steil ab als die des thätigen. Im thätigen Zustand ist also der Muskel dehnbarer als im ruhenden.

Ferner kann man am thätigen Muskel einen Versuch in folgender Art machen: Man schiebt den Schlitten einmal so, dass die Spannung von 0 an bis zu der grösstmöglichen wächst. Das zweite Mal wird der Schlitten umgekehrt geschoben, so dass er von der grösstmöglichen Spannung aus den Muskel entlastet. Die beiden erhaltenen Curven fallen nicht zusammen, sondern die zweite liegt beträchtlich unterhalb der ersten. Demnach ist es für die Contraction nicht einerlei, ob man den Muskel belastet oder entlastet.

Aus der Dehnungscurve lässt sich die Arbeit berechnen, die der Muskel geleistet hat, wenn er von seiner Länge bei der grössten Spannung sich auf

die Länge bei Spannung 0 verkürzt. Da die Abscissen die Gewichte (in g) angeben, die Ordinaten die Verkürzung des Muskels, d. i. also die Hubhöhe, bis zu der die jeweilige Belastung gehoben ist, so wird die geleistete Arbeit dargestellt durch den Inhalt der Fläche, welche durch die horizontale Linie EB, die der Zeichenhebel bei seinem tiefsten Stand zeichnet, ferner durch die Dehnungscurve und durch die Anfangs- und Endordinate begrenzt wird. Es ist das in Fig. 56 für den ruhenden Muskel die Fläche ABE, für den thätigen CDBE.

Die daraus zu berechnende Arbeit des ruhenden Muskels ist die, welche die elastischen Kräfte des gedehnten Muskels geleistet haben; sie ist keine nutzbare Arbeit des Muskels, weil sie genau aufgewogen wird durch die negative Arbeit, die geleistet worden ist durch die Dehnung. Die für den thätigen Muskel berechnete Arbeit ist die Summe derjenigen, die durch die elastischen Kräfte, und derjenigen, die durch die contractilen Kräfte des Muskels geleistet wurde. Nur die letztere ist die eigentliche nutzbare Arbeit des Muskels, der Nutzeffect. Um sie zu erhalten, muss man also von der Arbeit des thätigen die des ruhenden abziehen, oder sie wird dargestellt durch den Inhalt der Fläche, die von den beiden Dehnungscurven und den Endordinatenstücken begrenzt wird.

XI. Kapitel.

Arbeitssammler von Fick.

Der Arbeitssammler gestattet es, die Arbeit des Muskels bequem zu messen, aber ohne graphische Registrirung.

Apparat. Ein Rad von etwa 60 mm Radius mit einem Bleikranze ist um eine Axe leicht drehbar. An der einen Seite ist an dem Rade ein mit ihm concentrisches cylindrisches Röllchen (r) Fig. 58 befestigt von etwa 8—10 mm Halbmesser. Darum ist ein Faden geschlungen, an dessen frei herabhängendem Ende eine beliebig zu verändernde Last (P) hängt. Diese würde also bei der in der Zeichnung dargestellten Anordnung das Rad im Sinne des Pfeiles bei s zu drehen streben. Durch eine eigenthümliche Bremsvorrichtung, „Klemmsperrung", ist die Drehung verhindert. Ein starkes Bälkchen (B) ist nämlich um die am Stativ feste Axe (x) sehr leicht drehbar und lehnt vermöge seines Uebergewichts nach rechts am Umfange des Rades an, und zwar unter dem sogenannten Reibungswinkel gegen den Halbmesser im Berührungspunkte geneigt, so dass eine in der Längsrichtung des Bälkchens wirkende Kraft dasselbe nicht am Rade gleiten lassen würde. Dann kann auch umgekehrt eine tangentiale Kraft den Rand des Rades nicht in der Richtung des Pfeiles bei s an dem Balken vorbeigleiten machen. Ohne jede Hemmung kann sich dagegen das Rad in ent-

gegengesetzter Richtung an dem Bälkchen vorüber bewegen. Sehr zweckmässig ist es, das freie Ende des Bälkchens keilförmig zu gestalten, und in eine dem Rand des Rades eingedrehte Nuth eingreifen zu lassen, so jedoch, dass die Schneide des Keils die Tiefe der Nuth nicht ganz erreicht. Auf derselben Axe wie das Rad, aber unabhängig von ihm, ist ein möglichst leichtes Rähmchen C drehbar, welches das Rad umgreift und am vorderen Ende ein Bälkchen b, ähnlich wie B, trägt. Es ist drehbar um eine zur Ebene der Zeichnung senkrechte Axe und lehnt ebenfalls unter

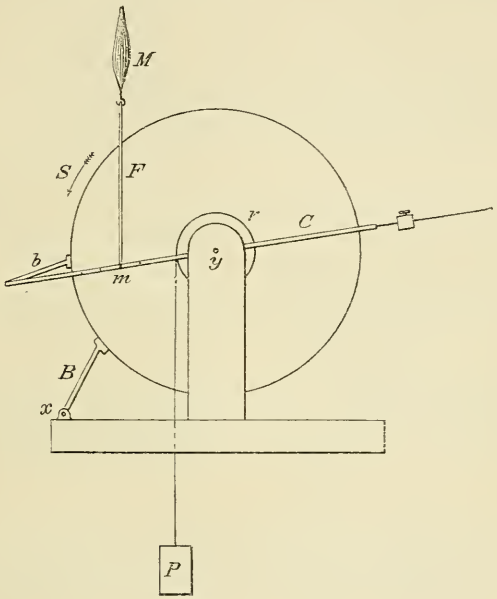


Fig. 58.

dem Reibungswinkel gegen den Rand des Rades. Diese zweite Klemmsperrung nöthigt also das Rad mitzugehen, wenn das Rähmchen gehoben wird. Dagegen kann das Rähmchen herabsinken, ohne dass das Rad gedreht wird. An dem Rähmchen greift nun etwa bei m der Muskel M an mittels eines Bügels F, der zu beiden Seiten des Rades herabgeht und in Stifte angehakt wird, die aus beiden Schenkeln des Rähmchens hervorstehen. Solcher Stiftpaare sind mehrere am Rähmchen in verschiedenen Entfernungen von der Hauptaxe angebracht, um das Verhältniss zwischen der Muskelspannung und der Last am Rähmchen variiren zu können.

Wenn der Muskel bei angelehnter Klemmsperrung B mit dem

Rähmchen verknüpft wird, so spannt er sich bloss durch das Uebergewicht des letzteren nach vorn an. Wird jetzt der Muskel zu einer Zuckung gereizt, so hebt er das Rähmchen, welchem vermöge der Sperrung b das Rad folgen muss. Die bedeutende träge Masse desselben wird dergestalt in Schwung kommen, dass sie sich auch nach Beendigung der Verkürzung weiter dreht an den in diesem Sinne offenen Sperrungen B und b vorüber, bis die lebendige Kraft der Masse durch die negative Arbeit des steigenden Gewichts vernichtet ist. Dann steht das Rad still, da es sich nicht an B vorüber abwärts zurückdrehen kann. Die Last P bleibt also auf der Höhe stehen, auf welche sie durch die Arbeit der Verkürzungskräfte des Muskels geworfen ist. Das Rähmchen ist aber inzwischen wieder herabgeglitten und sein Uebergewicht hat sich mit dem zur Ruhe zurückgekehrten Muskel wieder ins Gleichgewicht gesetzt.

Wenn der Muskel eine längere Reihe von Zuckungen nach einander auf die beschriebene Art ausführt, so windet er die Last P beliebig hoch hinauf. Dieser Versuch bringt die Fähigkeit des Muskels, Arbeit durch abwechselnde Zusammenziehung und Wiederausdehnung zu leisten, zur Anschauung.

Versuchsanordnung. Schlitteninductorium, Tauchelement, Metronomcontact im primären Strom. Tetanisirschlüssel im secundären Kreis. Drähte der secundären Leitung dem Muskel direct angelegt.

Präparat. Doppelsemimembranosus und -gracilis. Kurze Anordnung. Das obere Ende wird am Stativ befestigt, das untere mit dem Bügel F verknüpft. Gewicht an der Rolle 500 g.

Versuch. Das Metronom wird so in Gang gesetzt, dass etwa alle Secunden eine Oeffnung erfolgt; dann öffnet man den Tetanisirschlüssel und lässt den Muskel in der beschriebenen Weise so weit wie möglich das Gewicht aufwinden.

Man bestimmt die **Arbeitsleistung** als Product des Gewichts und der Höhe der Erhebung und dividirt durch die Zahl der Zuckungen, um die auf eine Zuckung im Durchschnitt fallende Arbeitsleistung zu bekommen.

XII. Kapitel.

Myographische Versuche am Menschen, nach Fick[1].

Der zur Untersuchung dienende Muskel ist der **Abductor indicis** oder **Interosseus dorsalis primus** der Hand. Er entspringt zweiköpfig von den einander zugekehrten Flächen der Mittelhandknochen des Daumens und Zeigefingers und inserirt in der Rückenaponeurose des Zeigefingers.

Apparat und Versuchsanordnung. In einem prismatischen Holzständer H (Fig. 59) ist bis zur Höhe K ein Einschnitt eingesägt, in welchen gerade die Mittelhand der Versuchsperson ohne Zwang eingelegt werden kann, und mit der Kleinfingerseite im abgerundeten Grunde des Spaltes ruht. Der Daumen ist gegen die eine Seitenwand des Spaltes angestemmt. Die Mittelhand ist hierdurch ganz ausreichend fixirt. Ueber den wagrecht hervortretenden Zeigefinger wird ein Bügel D aus hartem Eisendraht gehängt, durch den die drei übrigen Finger frei durchragen. Der Bügel liegt auf dem Zeigefinger da auf, wo sich das Gelenk zwischen zweiter und dritter Phalanx findet. Am unteren Ende ist am Drahtbügel ein Blechstreifen B befestigt, der mit einem Ausschnitt A unter der Nase N greift. Diese Nase befindet sich an der Axe eines Spannungszeichners, der gerade so gebaut ist, wie der S. 60 beschriebene, in einer für die Versuchszwecke entsprechenden Grösse. Die Feder, der Zeichner und das Lager, gegen das die Feder angedrückt wird, sind nicht mit gezeichnet. Wenn man nun den Finger zu heben sucht, so zeichnet der Muskel eine isometrische Curve. Denn der Bügel kann höchstens um 1 mm gehoben werden, und da der Muskel ausserdem noch an einem etwa fünfmal kürzeren Hebelarm

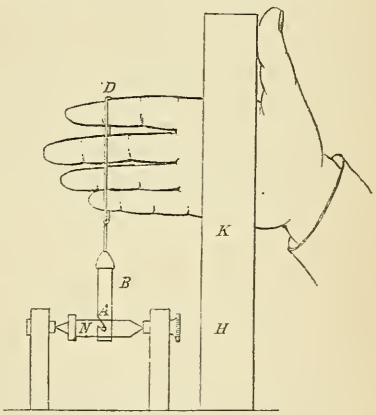


Fig. 59.

[1]) Pflüger's Archiv f. d. ges. Physiol., Bd. 41, S. 176.

angreift, als die Entfernung des Angriffspunktes des Bügels von der Gelenkaxe, um die sich der Zeigefinger dreht, so verkürzt sich der Muskel selbst höchstens um $^1/_5$ mm. Der Zeichner zeichnet an die Trommel des Kymographions.

Man kann mit dieser Versuchsanordnung folgende Versuche anstellen:

1. **Messung der Kraft des Muskels** bei möglichst grösster Contraction. Aus der Höhe der Spannungscurve und der zugehörigen Skala des Spannungszeichners ergiebt sich zunächst die Kraft, mit der der Bügel nach aufwärts gezogen worden ist. Die Kraft des Muskels selbst ist etwa das Fünffache, weil der Muskel an einem kleineren Hebelarm angreift als der Bügel.

2. **Einfluss der Ermüdung und Erholung.** Man stellt neben dem Apparat ein Metronom auf, das Secunden schlägt. Nun contrahirt man den Muskel während einer Secunde, um ihn in der darauf folgenden wieder erschlaffen zu lassen, dann folgt wieder Contraction u. s. f. Man nimmt wahr, dass die Höhe der Erhebung der Spannungscurve bei fortschreitender Ermüdung kleiner wird. Wenn die Contractionshöhe sehr stark vermindert ist, lässt man dem Muskel zur Erholung einige Zeit Ruhe und stellt dann von Neuem Versuche an. Nun geht der Zeichner wieder höher hinauf als vorher. Ein anderes Mal kann man eine gleich grosse Erholungspause machen, aber in dieser Pause den Muskel massiren; man knetet ihn und streicht ihn in der Richtung von der Hand nach dem Unterarm zu. Man nimmt danach wahr, dass nun die Kraft des Muskels mehr zugenommen hat, als in einer gleichen Erholungspause ohne Massage.

3. **Elektrische Reizung.** Man legt die Reizelektroden an den Stellen an, wo etwa die beiden Enden des Muskels liegen. Als Reizelektroden benutzt man Metallknöpfe, die mit einem Stückchen angefeuchteten Tuches überzogen und mit den Drähten der secundären Spirale verbunden sind. Man kann nun Einzelzuckung, Superposition und Tetanus studiren mit Hilfe der früher beschriebenen Inductionsapparate.

4. **Vergleichung der elektrischen und normalen physiologischen Erregung.** Man tetanisirt den Muskel einmal elektrisch so stark wie möglich, und contrahirt ihn dann ein zweites Mal willkürlich.

Man nimmt wahr, dass bei der willkürlichen Contraction eine stärkere Kraft entwickelt wird, als bei der stärksten möglichen Contraction durch elektrischen Reiz.

Es ist leicht ersichtlich, dass man mit dem Muskel auch solche Versuche anstellen kann, in denen er sich wirklich verkürzt. Man hängt dann an den Bügel, der auf dem Finger liegt, ein Gewicht an, statt ihn mit dem Spannungszeichner zu verbinden, und verbindet mit dem Gewicht einen Schreibhebel, der die Höhe der Erhebung des Gewichts graphisch registrirt. Man kann so aber nicht etwa isotonische Contractionen erhalten, weil mit der Verkürzung sich die Lage der Knochen zu einander ändert, und damit das Verhältniss der Hebelarme, der Muskelspannung und der etwa willkürlich eingeführten constanten Gegenspannung.

Ein anderer Apparat zum Studium der willkürlichen Contraction ist **Mosso's Ergograph**[1]). Hier ist die Hand mit der Volarseite nach oben auf einer mit geeigneten Polstern versehenen Eisenplatte fixirt; Zeige- und Ringfinger sind auch festgebunden und an der Mittelphalange des Mittelfingers ist ein Lederring befestigt, von dem ein Faden über eine Rolle geht, der ein Gewicht trägt. Beugt man den Mittelfinger, so wird das Gewicht gehoben und die Höhe der Erhebung durch gleichzeitige Mitbewegung eines Schreibhebels registrirt. Die Muskeln, die sich hierbei contrahiren, sind der Flexor digitorum sublimis und profundus und der zweite Lumbricalis. Mit diesem Apparat kann man ähnliche Versuche anstellen, wie mit dem von Fick beschriebenen.

XIII. Kapitel.

Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Nervenleitung.

Literatur: v. Helmholtz, Archiv f. Anat. u. Physiol. 1852.

Versuchsanordnung. Präparat. Nervmuskelpräparat.

Reizapparat. Schlitteninductorium. Rollenabstand so, dass bei Oeffnung Maximalzuckung erreicht wird. Tauchelement. In die primäre Leitung wird der Contact der Schreibfläche eingeschaltet. In die secundäre der Du Bois-Reymond'sche Schlüssel. Von da führen die Drähte zu einer Wippe ohne Kreuz. Von den beiden Zweigleitungen, die von der Wippe ausgehen, führt das

---

[1]) Du Bois-Reymond's Archiv f. Physiol. 1890, S. 89.

eine Drahtpaar zu einer Stelle des Nerven, der dem Muskel nahe liegt, das andere zu einer Stelle, die dem centralen Ende des Nerven sehr nahe liegt. Am einfachsten ist folgende Vorrichtung: Man klebt die Enden der vier Drähte auf eine etwa 6 cm lange, 3 cm breite Glasplatte so auf, dass die beiden ersten Drähte d_1 (Fig. 60) dicht an einer Breitseite der Platte 1 mm von einander entfernt neben einander und parallel derselben aufgekittet werden; die beiden letzten ebenso etwa 2 cm von der anderen Breitseite entfernt (d_2, Fig. 60). Auf die Glasplatte, die durch Korkzange und Muffe an dem Stativ des Myographions zu befestigen ist, wird der Nerv so ausgebreitet, dass seine Eintrittsstelle in den Muskel nahe dem ersten Drahtpaar d_1 liegt, das centrale Ende mit dem Knochenstück der Wirbelsäule auf dem Stück der Glasplatte zwischen dem zweiten Drahtpaar d_2 und der 2 cm davon entfernten Breitseite. Ist der Nerv länger als die Entfernung von d_1 bis d_2, so wird er in einer Schlangenlinie zwischen beiden Drahtpaaren ausgebreitet. Die Drähte müssen da, wo der Nerv aufliegt, blank sein. Die Drähte werden so mit der Wippe verbunden, dass der Strom durch beide berührte Nervenstellen in gleicher Richtung gehen kann.

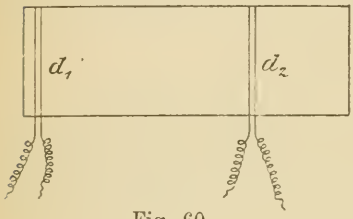


Fig. 60.

Um sich vor unipolaren Inductionswirkungen zu hüten, die bei diesem Versuche von Einfluss sein könnten, wird das Präparat selbst gut isolirt. Man schraubt das Knochenstück des Oberschenkels dazu am besten nicht direct in der Klemmschraube fest, sondern überzieht es erst mit einem Stückchen dünnen Gummischlauches, so dass der Gummi den Knochen von der metallenen Schraube isolirt. Ausserdem leitet man bei jedem Drahtpaare von der dem Muskel zugekehrten Elektrode nach der Gas- oder Wasserleitung ab; es geschieht das durch Drähte, deren eines Ende man in die entsprechenden Polschrauben der Wippe schraubt, während das andere in ein Abflussrohr der Wasserleitung gesteckt wird.

Schreibfläche. Cylinder-, Feder- oder Pendelmyographion.

Zeitschreiber. Stimmgabel mit elektrischer Uebertragung.

Schreibhebel. Einfacher isotonischer Schreibhebel, der die Verkürzung des Muskels in etwa achtfacher Vergrösserung wiedergiebt. Belastung des Muskels etwa 5 g.

Anstellen des Versuches. Die Zeichner werden eingestellt, der Reizmoment markirt; dann die Wippe so gestellt, dass die untere Stelle des Nerven gereizt wird und die Zuckung aufgezeichnet. Dann geschieht dasselbe mit Reizung der oberen Nervenstelle, nachdem man die Wippe umgelegt hat; hier braucht der Zeitschreiber nicht mehr mitzuschreiben. Man erhält dann das zweite Mal eine Curve, die um ein bestimmtes Stück später fällt als die erste (s. Fig. 61a). Die horizontale Entfernung der beiden Curven von einander wird gemessen, am besten in der Gegend der grössten Steilheit der aufsteigenden Schenkel (in der Figur ist zu

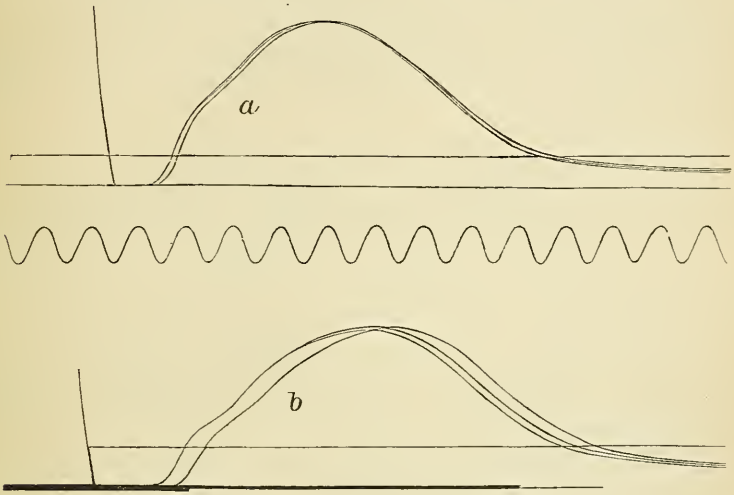


Fig. 61.

dem Zweck eine horizontale Linie durch die Curven gezogen). Die Messung geschieht mit Zirkel und Massstab unter einer Lupe. In der Zeit, die dieser Entfernung entspricht und die aus der Curve des Zeitschreibers zu berechnen ist, ist der Reiz im Nerven von der oberen zur unteren Reizstelle gegangen. Man misst dieses Stück Nerv — in dem Versuche, der die Figuren gab, betrug es 5 cm — und berechnet mit Hilfe der erhaltenen Daten, durch welche Nervenstrecke der Reiz in einer Secunde hindurchgehen muss.

Um sich vor Beobachtungsfehlern zu hüten, wiederhole man den Versuch nochmals. Die beiden nun erhaltenen Curven müssen sich wenigstens in ihren aufsteigenden Schenkeln genau mit den entsprechenden ersten decken. Die Fig. 61 a enthält auch von jeder

Art zwei Curven, die sich wenigstens im ersten Theil des Aufstiegs genau decken.

Es ist auch darauf zu achten, dass die Zeichnung immer genau von einer und derselben Abscissenaxe ausgeht. Ist der Muskel nach einer Zeichnung etwas kürzer oder länger, so bringt man die Zeichenspitze wieder auf die alte Abscissenaxe mit Hilfe der Schraube am oberen Muskelende.

Beispiel der Berechnung. Eine Schwingung der Stimmgabel, die die Schwingungszahl 100 hatte, entspricht in der Zeichnung 6,35 mm, dann entspricht 1 mm Abscisse 0,00157″.

Die Entfernung der beiden Curven von einander ist 0,9 mm, das entspricht 0,9 . 0,00157″ oder 0,001413″.

Die Strecke des Nerven zwischen den beiden gereizten Stellen ist 5 cm, dann ist

$$0{,}001413'' : 1'' = 5 \text{ cm} : x$$

worin x die Nervenstrecke angiebt, die der Reiz in 1″ durchläuft.

$$x = \frac{5}{0{,}001413} \text{ cm} = 3540 \text{ cm}$$

oder rund 35 m.

Man wiederhole den Versuch nochmals, nachdem vorher der Nerv durch Auflegen eines Stückchens Eis abgekühlt worden ist. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit ist nun geringer. Fig. 61 b ist so von demselben Präparat erhalten, das vor der Abkühlung des Nerven Fig. 61 a gegeben hatte.

Die Curve, die bei Reizung der oberen Nervenstelle erhalten wird, geht oft höher hinauf, als die andere. Die obere Nervenstelle ist demnach erregbarer, als die untere, oder die Erregung schwillt beim Durchgang durch den Nerven lawinenartig an.

XIV. Kapitel.

Contractionswelle.

Es handelt sich darum, zu untersuchen, ob bei Reizung einer bestimmten Stelle eines Muskels die Verkürzung gleichzeitig in allen Theilen des Muskels Platz greift, oder ob verschiedene Theile sich zu verschiedenen Zeiten verkürzen.

Die Versuchsanordnung ist im Allgemeinen folgende: Wir reizen ein Ende eines ausgeschnittenen Froschmuskels und legen sowohl in der Nähe der gereizten Stelle, als auch möglichst entfernt davon, also nahe am anderen Ende einen Hebel auf, der die Verdickung auf eine vorbeibewegte Schreibfläche aufzeichnet. Die Zeichnung ergiebt, ob sich die Hebel gleichzeitig oder nach einander erheben.

Präparat. Die Sartorii eines curaresirten Frosches von beiden Seiten, die über einander gelegt werden in eine Art längliche Mulde in einem isolirenden Gegenstand (Ebonit oder Holzleiste). S. das Schema Fig. 62.

Das eine Ende des Präparats wird durch einen Muskelhaken festgestellt, an das andere ein Faden geknüpft, der über eine Rolle

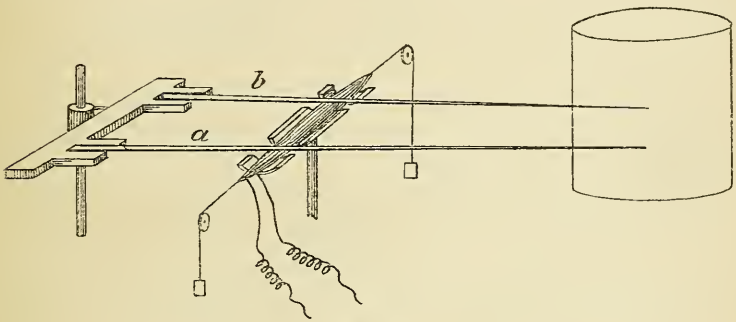


Fig. 62.

geht und ein Gewicht trägt, oder an beiden Enden des Präparats werden Fäden festgebunden, die über Rollen gehen und an denen Gewichte hängen (jederseits etwa 5 g), die den Muskel mässig spannen. Dicht an einem Ende werden die Enden der von der secundären Spirale kommenden Drähte angelegt und festgehalten. Zwei leichte Hebelchen, die neben einander stehen (a und b, Fig. 62), werden möglichst nahe an ihren Axen auf zwei möglichst weit von einander entfernte Stellen des Muskels gelegt — die Mulde muss dafür passende Einschnitte am Rande haben. Die Zeichenspitzen der Hebel sind so gebogen, dass beide auf ein und dieselbe senkrecht stehende Schreibfläche, wenn möglich genau senkrecht über einander zu liegen kommen. Die Hebel werden nahe ihrer Axe dem Muskel aufgelegt, damit die kleine Bewegung des Muskels stark vergrössert wieder gegeben wird (in der schematisch gehaltenen Figur ist der Muskel weiter von der Axe entfernt gezeichnet,

als es beim Versuch sein soll). Dabei kann es störend sein, dass die Last der Hebel, die auf den zarten Muskel drückt, nun so erheblich wirkt, dass eine auffallende Verdickung nicht mehr erhalten wird. Um das zu vermeiden, hängt man an einen um die Axe des Hebels geschlungenen Faden Gewichte an und zwar so, dass der Zug des Gewichts den Hebel nach aufwärts zu bewegen sucht. Die Gewichte werden so gross gewählt, dass sie beinahe dem Hebel das Gleichgewicht halten und nur ein geringes Uebergewicht des Hebels übrig lassen. Auch kann man Hebel verwenden, bei denen Gegengewichte fest mit der Axe verbunden sind, wie bei den in Fig. 113 abgebildeten.

Schreibfläche. Cylinder-, Pendel- oder Federmyographion.

Reizapparat. Man reizt mit Oeffnungsinductionsstrom, wie in dem S. 81 beschriebenen Versuch.

Zeitschreiber. Stimmgabel mit elektrischer Uebertragung.

Ausführung des Versuchs. Erst wird der Reizmoment für beide Zeichner markirt, dann lässt man den Muskel bei bewegter Schreibfläche die Curven zeichnen.

Man misst nun bei beiden erhaltenen Curven die Entfernung des Reizmomentstriches von dem Beginn der Erhebung des Hebels, das ist das Latenzstadium. Es ergiebt sich, dass der Hebel, der den Reizelektroden zunächst liegt, ein kürzeres Latenzstadium hat, als der andere. Also contrahiren sich nicht alle Theile des Muskels gleichzeitig — die Contraction pflanzt sich wellenförmig von dem Reizorte aus fort. Man berechnet nun mit Hilfe der Zeitschreibung die zeitliche Differenz der beiden Latenzstadien und daraus, sowie aus dem Abstand der beiden Punkte des Muskels, denen die Hebel aufliegen, die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Contractionswelle ganz so wie bei der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizleitung im Nerven.

Ein dem Absterben naher oder stark ermüdeter Muskel leitet die Contraction nicht mehr so schnell wie ein frischer, oder gar nicht mehr, sondern zeigt nur an der Reizstelle selbst einen stehenbleibenden Wulst.

XV. Kapitel.

Elektrotonus.

1. Die Aenderung der Erregbarkeit im Elektrotonus nachgewiesen mit elektrischer Reizung.

Literatur: E. Pflüger, Physiologie des Elektrotonus. Berlin 1859.

Die jetzt anzustellenden Versuche haben den Zweck, den Einfluss des constanten Stroms auf die Erregbarkeit des Nerven darzuthun.

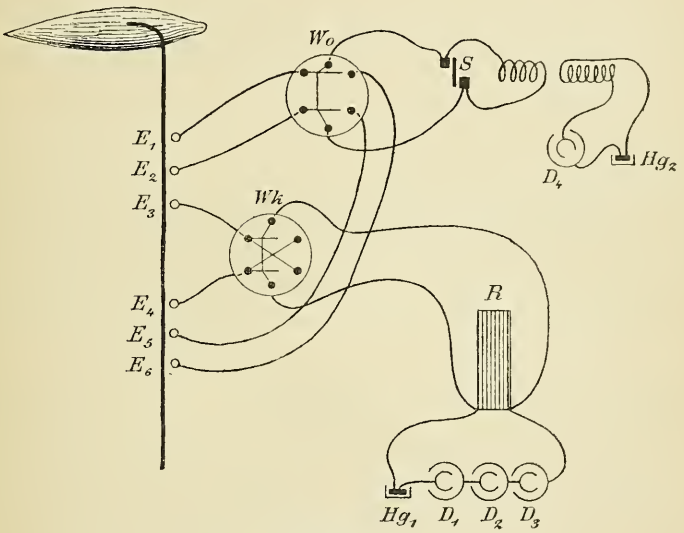


Fig. 63.

Präparat. Nervmuskelpräparat, das in den Muskeltelegraphen eingefügt wird.

Man kann auch die Hubhöhen des Muskels graphisch registriren lassen, dann bewegt das untere Muskelende einen Längenzeichner, der, wie in dem S. 79 beschriebenen Versuche, auf eine feststehende Schreibfläche zeichnet.

Apparate. 1. Der erregbarkeitändernde Strom. Drei kleine Daniell'sche Elemente D_1 D_2 D_3 (Fig. 63). Im Stromkreis: Du Bois-Reymond's Rheochord R als Nebenleitung, Wippe mit Kreuz Wk und

Quecksilberschlüssel Hg_1. Die Enden der Leitungsdrähte führen zu unpolarisirbaren Elektroden.

Man benutzt sechs (E_1—E_6) neben einander stehende, unpolarisirbare Elektroden, etwa von der Art der S. 32 und 33 beschriebenen. Die beiden mittelsten E_3 und E_4 werden mit dem erregbarkeitändernden Strome verknüpft.

2. **Der erregbarkeitprüfende oder Reizstrom.** Dazu braucht man entweder:

a) Inductionsströme. Schlitteninductorium mit einem Daniell D_4 und Quecksilberschlüssel Hg_2 im primären Kreis. Du Bois-Reymond's Schlüssel S im secundären als Nebenleitung, die Enden der secundären Leitung führen zu einer Wippe ohne Kreuz (Wo), von der die beiden Drahtpaare zu je zwei seitlichen der sechs unpolarisirbaren Elektroden E_1 und E_2 oder E_5 und E_6 gehen. — Oder

b) Constanter Strom. Drei Daniells mit einfachem Rheochord als Nebenleitung, Hg-Schlüssel, Wippe ohne Kreuz, dann wie bei a.

Die Richtung des Reizstromes im Nerven ist zum Gelingen des Versuchs gleichgültig, falls die Reizelektroden E_1 und E_2 einerseits, E_5 und E_6 anderseits möglichst nahe den Elektroden E_3 und E_4 liegen. Man kann sich davon überzeugen, wenn man die gleich zu beschreibende Versuchsreihe zweimal anstellt, das eine Mal mit anderer Richtung des Reizstroms, als das zweite Mal.

Gang der Untersuchung im Allgemeinen. Man reizt den Nerven an einer Stelle neben einer Elektrode des erregbarkeitändernden Stromes vor, während und nach der Durchleitung dieses Stromes und beobachtet, ob der Erfolg der Reizung — und damit die Erregbarkeit — während der Durchleitung grösser oder kleiner ist, als vor dem Schliessen und nach dem Oeffnen des erregbarkeitändernden Stromes. Es ist dazu nöthig, dass die Reizstärke in allen drei Fällen immer die gleiche ist. Man verwendet deshalb immer ein und dieselbe Reizart bei gleicher Stromstärke — entweder nur Oeffnungen oder nur Schliessungen, sowohl bei constantem, als auch bei Inductionsstrom.

Gang der Untersuchung im Besonderen. Die Stärke des erregbarkeitändernden Stromes wird zunächst so gewählt, dass sie den mittelstarken Strömen des Zuckungsgesetzes entspricht, dass also sowohl Schliessung als Oeffnung Zuckung giebt.

1. Nun richte man diesen Strom so, dass die negative Elektrode dem Muskel zunächst liegt — absteigender Strom — und verbinde den Reizstrom durch entsprechende Stellung der Wippe ohne Kreuz mit den zwischen dieser Elektrode E_3 und dem Muskel liegenden beiden Elektroden E_1 und E_2. Die Stärke des Reizstromes wird so gewählt, dass eben keine Zuckung mehr zu Stande kommt oder höchstens eine äusserst schwache. Dann wird der erregbarkeitändernde Strom geschlossen und nun mit demselben Reiz, wie zuerst, wieder gereizt. Die Zuckung ist nun vorhanden, resp. sie ist stärker, die Erregbarkeit ist also erhöht. Wenn man den erregbarkeitändernden Strom wieder öffnet und danach reizt, bleibt die Zuckung wieder aus oder sie ist schwächer.

Bei Schliessung und Oeffnung des erregbarkeitändernden Stromes zuckt der Muskel natürlich auch; diese Zuckungen werden ausser Acht gelassen, weil sie für die vorliegende Frage nicht von Interesse sind.

2. Die Richtung des erregbarkeitändernden Stromes wird aufsteigend gemacht und neben dem dem Muskel nun zunächst liegenden positiven Pole gereizt. Die Stärke des Reizes wird so gewählt, dass vor dem Einwirken des erregbarkeitändernden Stromes der Reiz eben eine Zuckung auslöst. Nun wird der erregbarkeitändernde Strom geschlossen: die Zuckung bei Reizung bleibt aus, die Erregbarkeit ist herabgesetzt. Nach Oeffnen des Stromes ist die Zuckung wieder zu erhalten.

3. Die Wippe Wo wird nun umgelegt. Bei aufsteigendem erregbarkeitänderndem Strome wird in derselben Weise wie bei 1 neben der oberen, jetzt negativen Elektrode E_4 durch die Reizelektroden E_5 und E_6 gereizt — während der Durchleitung des Stromes zeigt sich die Erregbarkeit hier erhöht.

4. Bei absteigendem erregbarkeitänderndem Strome wird in derselben Weise wie bei 2 neben dem oberen, positiven, Pole E_4 gereizt — während der Durchleitung des Stromes zeigt sich die Erregbarkeit herabgesetzt.

Dasselbe lässt sich auch feststellen, wenn man die Stärke des erregbarkeitändernden Stromes ändert mit einer Ausnahme. Wenn man bei aufsteigendem Strome den erregbarkeitändernden Strom stärker macht, so dass seine Stärke etwa den starken Strömen des Zuckungsgesetzes entspricht, so kann man an der Kathode nicht mehr die erhöhte Erregbarkeit nachweisen, sondern dieselbe ist hier scheinbar vermindert, wenigstens bleiben die Zuckungen, die

vor und nach Durchleitung des Stromes erhalten werden, während der Durchleitung aus.

Die bisher beschriebenen Versuche geben Aufschluss über die Erregbarkeitsänderung neben den Elektroden an Nervenstellen, die ausserhalb des Stromkreises des erregbarkeitändernden Stromes liegen. Nun kann man aber auch die Aenderung der Erregbarkeit in dem Nervenstück zwischen den beiden Polen des erregbarkeitändernden Stromes prüfen. Das erfordert nur eine etwas andere Verknüpfung der Elektroden mit den elektrischen Apparaten, nämlich folgende: Die beiden äussersten der sechs Elektroden, E_1 und E_6, werden mit dem erregbarkeitändernden Strome verknüpft, die vier mittelsten mit dem Reizapparat, und zwar so, dass von diesen die beiden unteren (dem Muskel näher liegenden), E_2 und E_3, mit dem einen, die beiden oberen, E_4 und E_5, mit dem anderen Drahtpaar der Wippe Wo verbunden werden.

Zum Gelingen des Versuches ist es allerdings nöthig, in die beiden Stromkreise grosse Widerstände einzuschalten, so dass der Widerstand des zwischen den Reizelektroden liegenden kurzen Nervenstücks dagegen verschwindet, weil sonst jeder der beiden Ströme zu starke Zweigströme in den anderen Stromkreis sendet, die den Versuch stören. Wenn man nun, wie in den beschriebenen Fällen, die Erregbarkeitsänderung untersucht, erhält man auch Erhöhung neben der Kathode, Herabsetzung neben der Anode. Dazwischen findet sich eine Stelle unveränderter Erregbarkeit, der sogenannte Indifferenzpunkt, der der Kathode um so näher liegt, je stärker der erregbarkeitändernde Strom ist.

Man nennt den Zustand veränderter Erregbarkeit durch den constanten Strom: Elektrotonus, den an der Kathode: Katelektrotonus, den an der Anode: Anelektrotonus.

Alle beobachteten Erscheinungen, sowie das früher festgestellte Zuckungsgesetz lassen sich in folgende vier Sätze zusammenfassen:

1. Die Erregbarkeit und Leitungsfähigkeit ist erhöht im Katelektrotonus, herabgesetzt im Anelektrotonus.

2. Reizend wirkt: das Entstehen des Katelektrotonus und das Verschwinden des Anelektrotonus.

3. Bei gleicher Stromstärke ist das Entstehen des Katelektrotonus ein stärkerer Reiz als das Verschwinden des Anelektrotonus.

4. Gleich nach dem Oeffnen des Stromes, während des Verschwindens des Elektrotonus ist Erregbarkeit und Leitungsfähigkeit herabgesetzt an der Kathode, erhöht an der Anode.

Aus diesen Sätzen erklärt sich das Zuckungsgesetz so:

Bei schwachen Strömen wirkt nur der stärkere Reiz, das Entstehen des Katelektrotonus erregend, noch nicht das Verschwinden des Anelektrotonus, daher nur Schliessungszuckungen.

Bei mittelstarken wirken sowohl Entstehen des Katelektrotonus, als Verschwinden des Anelektrotonus erregend, daher sowohl Schliessungs- als Oeffnungszuckungen.

Bei sehr starken und absteigenden: a) Entstehen des Kat-

elektrotonus wirkt erregend und der Reiz kann von der Kathode zum Muskel ungehindert durch, daher Schliessungszuckung. b) Verschwinden des Anelektrotonus wirkt zwar erregend an der Anode, der Reiz muss aber, um von da zum Muskel zu gelangen, durch die Stelle herabgesetzter Leitungsfähigkeit an der Kathode, wo der Katelektrotonus verschwindet, hindurch, er findet hier so grossen Widerstand, dass er gar nicht oder nur so abgeschwächt hindurch kommt, dass er den Muskel nicht mehr erregen kann, daher keine Oeffnungszuckung.

Bei starken aufsteigenden Strömen: a) Entstehen des Katelektrotonus wirkt erregend an der Kathode, der Reiz muss aber, um zum Muskel zu gelangen, durch die Stelle herabgesetzter Leitungsfähigkeit an der Anode und findet hier so grossen Widerstand, dass er gar nicht oder nur so abgeschwächt hindurchkommt, dass er den Muskel nicht mehr erregen kann — daher keine Schliessungszuckung. — b) Verschwinden des Anelektrotonus bewirkt Erregung an der Anode und der Reiz kommt von da ungehindert zum Muskel — daher Oeffnungszuckung.

Die Erscheinungen des Elektrotonus sind alle aus dem ersten der vier Sätze ohne Weiteres verständlich mit Ausnahme der Thatsache, dass bei starken aufsteigenden Strömen die Erregbarkeit an der Kathode herabgesetzt erscheint. Das erklärt sich so: Die stärkere Erregung, die im Katelektrotonus an der Kathode entsteht, kann nicht zum Muskel gelangen, weil sie daran durch die stark herabgesetzte Leitungsfähigkeit an der Anode gehindert wird.

2. Elektrotonus mit chemischer Reizung.

Präparat und Stromkreis des erregbarkeitändernden Stromes wie bei dem eben beschriebenen Versuche. Es sind bloss zwei unpolarisirbare Elektroden nöthig. Der ganze Reizstrom des vorigen Versuches fällt weg, statt dessen Reizung mit einem Tropfen concentrirter Kochsalzlösung, der sich auf einer Glasplatte befindet, und in den die zu reizende Nervenstelle eingetaucht wird. Es entsteht danach Kochsalztetanus, der geringer wird oder ganz schwindet, wenn die gereizte Stelle in Anelektrotonus versetzt wird, stärker, wenn sie im Katelektrotonus ist — vorausgesetzt, dass die Leitung von der Reizstelle zum Muskel vor sich gehen kann, und nicht etwa durch den Zustand herabgesetzter Leitungsfähigkeit (Anelektrotonus) gehindert wird.

Die Versuche werden in ganz analoger Weise angestellt, wie die Versuche mit elektrischer Reizung, nur wird die Stelle des Nerven, der dort die Reizelektroden anliegen, hier mit Kochsalzlösung gereizt. Die unpolarisirbaren Elektroden, am besten Stiefelelektroden, werden über der Glasplatte so eingestellt, dass man ihnen den Nerven bequem anlegen kann und zwar kommt diejenige, deren Einfluss auf die Erregbarkeit man untersuchen will, neben die mit Kochsalzlösung benetzte Stelle.

Da durch die chemische Reizung das Nervengewebe zerstört wird, so wird man die Versuche an mehreren Präparaten anstellen müssen, wenn man alle Fälle untersuchen will.

3. Beweis, dass die Erregung bei Schliessung an der Kathode, bei Oeffnung an der Anode entsteht.

a) Für Oeffnen des constanten Stromes. Reizapparat und dessen Aufstellung wie beim Studium des Zuckungsgesetzes (S. 34 Fig. 20), statt des Quecksilberschlüssels S ist der Contact in den Strom eingeschaltet, der durch eine bewegte Schreibfläche geöffnet werden kann. Als Schreibfläche wird benutzt Cylinder-, Pendel- oder Federmyographion. Der Muskel des Nervmuskelpräparats bewegt einen isotonischen Schreibhebel. Vergrösserung achtfach. Belastung etwa 5 g. Die beiden Elektroden werden möglichst weit aus einander gestellt, so dass die eine dicht am Muskel, die andere dicht an der Wirbelsäule dem Nerven anliegt. Man stelle bei mittlerer Stromstärke (s. Zuckungsgesetz) den Strom zunächst so, dass die dem Muskel zunächst liegende Elektrode die positive ist und mache einen Versuch, bei dem also der Nerv durch Oeffnung erregt und die Zuckung auf die Schreibfläche aufgezeichnet wird. Nun wird die Stromrichtung im Nerven geändert und ein zweiter Versuch gemacht. Die beiden erhaltenen Curven decken sich nicht, sondern die letztere steigt später an als die andere. Man bestimmt mit Hilfe des Zeitschreibers genau die zeitliche Differenz zwischen der Erhebung der Curven: sie entspricht der Zeit, in der der Reiz von der oberen zur unteren Elektrode durch den Nerven hindurchgeht.

Die genaue Auswerthung der Zeitdifferenz ist hier indes oft schwierig, weil die beiden Curven verschieden ausfallen, insbesondere verschieden steil ansteigen können, so dass der horizontale Abstand nicht an den Stellen grösster Steilheit, sondern an den Fusspunkten

gemessen werden muss. Ausserdem kann die Fortpflanzungsgeschwindigkeit anders als normal erscheinen, weil der Elektrotonus Einfluss auch auf die Leitung hat. Immerhin lässt sich aber doch im Allgemeinen aus den Curven entnehmen, dass die Erregung bei verschiedener Richtung des Stromes an verschiedenen Stellen statt hat.

b) **Für Schliessung des constanten Stromes.** Um den Nerven durch Schliessen des constanten Stromes zu reizen, schaltet man den Contact der Schreibfläche als Nebenleitung zu der Leitung durch den Nerven ein. Alles übrige wie bei a. Hier entsteht bei Oeffnung des Contacts in der Nebenleitung Verstärkung des Stromes der Hauptleitung und dadurch dieselbe Erregung, wie bei Schliessung eines constanten Stromes. Dem Strom wird mit dem Rheochord eine passende Stärke ertheilt, so dass Oeffnen der Nebenleitung bei geschlossener Hauptleitung eine Zuckung sowohl bei aufsteigendem als bei absteigendem Strom ergiebt. Dann wird der Versuch angestellt.

Hier fällt nun die Curve bei aufsteigendem Strome später, als die bei absteigendem, und zwar um so viel, als dem Durchgang des Reizes von der oberen zur unteren Elektrode entspricht.

Bei Schliessung entsteht demnach die Erregung an der Kathode, bei Oeffnung an der Anode.

4. Ort der Wirkung der Inductionsströme.

Versuchsanordnung. Wo die Erregung durch Inductionsströme statt hat, können wir wieder untersuchen nach einem ähnlichen Principe, wie das der Bestimmung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Nervenleitung. Es werden die beiden Drahtenden der secundären Leitung zwei Stellen des Nerven eines Nervmuskelpräparats angelegt, die möglichst weit aus einander liegen.

Bei diesem Versuch ist zu beachten, dass der Nerv nicht in solcher Weise zwischen den Elektroden ausgebreitet wird, dass Nebenschliessungen entstehen, welche die gesuchte Erscheinung nicht zu Stande kommen lassen. Das scheint z. B. der Fall zu sein, wenn man, wie beim Studium der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Nervenleitung, die beiden Drahtenden auf eine Glasplatte aufkittet und den Nerv dazwischen ausbreitet — wenigstens erhält man so schlechte Resultate. Besser ist es schon, das Nervenstück zwischen den Elektroden frei in der Luft schweben zu lassen. Am geeignetsten ist aber folgende Anordnung. Man richtet sich ein Kästchen her, wie das

Fig. 47 abgebildete, lässt aber den Deckel ganz weg. Dieses stellt man zur Seite des Muskels so auf, dass man den Nerven ganz in das Kästchen hineinlegen und etwa in der Längsrichtung desselben ausstrecken kann, so dass die Stromrichtung mit der Faserrichtung zusammenfällt. Das Kästchen wird mit Kochsalzlösung gefüllt. Als Orte der Elektroden sind in diesem Falle zu betrachten 1. das obere Ende des Nerven und 2. die Stelle nahe dem Muskel, wo der Nerv aus der Flüssigkeit herausragt[1]).

In den secundären Stromkreis wird eine Wippe mit Kreuz eingeschaltet. Aufschreiben der Zuckung auf eine bewegte Schreibfläche, Reizung mit Oeffnungsinductionsströmen, so dass eben Maximalzuckung eintritt.

Versuch. Wir machen nun nach einander zwei Versuche mit verschiedener Richtung des Inductionsstromes. Die erhaltenen Zuckungscurven fallen nicht zusammen, sondern liegen so weit aus einander als der Reizleitung im Nervenstück zwischen den Elektroden entspricht, und zwar erhält man die frühere Curve, wenn der Strom im Nerven absteigend ist, wenn also die Kathode dem Muskel zunächst liegt. Dieser Versuch weist darauf hin, dass Inductionsströme nur an der Kathode erregen.

Dem entsprechend liegen übrigens die Curven noch weiter aus einander, wenn man den Nerven abkühlt. Auch dieser Versuch gelingt am besten, wenn man das eben beschriebene Kästchen anwendet. Zur Abkühlung des Nerven legt man ein Stückchen Eis in die Kochsalzlösung nahe dem Nerven hinein.

Es ist zu den Versuchen nöthig, die Stromrichtung der Inductionsströme zu kennen. Meist finden sich an den Polschrauben der secundären Rolle der Apparate die Zeichen + und —, oder K und Zn zur Bezeichnung des positiven und negativen Pols für eine bestimmte, in ähnlicher Weise durch Zeichen angegebene Verknüpfung der Polschrauben der primären Spirale mit dem Element und für Schliessung des primären Stromes angegeben. Wo dies nicht der Fall ist, muss man die Stromrichtung bestimmen. Man kann das aber nicht mit Hilfe der Elektrolyse (siehe S. 29) thun, weil die Inductionsströme so schwach sind, dass merkbare Elektrolyse nicht auftritt. Man bestimmt die Stromrichtung mit Hilfe sehr empfindlicher Galvanometer, gerade so, wie man die Richtung der Nerven- und Muskelströme bestimmt. Siehe darüber das folgende Kapitel.

Man kann die Wirkung der Inductionsströme noch in folgender Weise studiren. Man lege an einen Nerven vier unpolarisirbare

[1]) Siehe darüber bei Fick, Verhandl. d. Physik.-med. Ges. zu Würzburg, Bd. X, 1877.

Elektroden, vom Muskel ab gezählt 1, 2, 3, 4 an, und zwar so, dass 1 möglichst nahe dem Muskel, 2, 3 und 4 nahe bei einander, aber weit von 1 entfernt, nahe dem centralen Ende des Nerven stehen. Nun verbindet man 3 und 4 mit einem erregbarkeitändernden Strome gerade so, wie beim Studium des Elektrotonus, 1 und 2 aber mit der secundären Rolle eines Inductionsapparates. In beide Kreise schaltet man Stromwender ein. Der Inductionsapparat dient zur Erzeugung des erregbarkeitprüfenden Stromes. Nun untersuche man genau so, wie beim Studium des Elektrotonus, die Erregbarkeitsänderung durch den constanten Strom an der Elektrode 3 mit Hilfe des Inductionsstromes. Da ergiebt sich nun, dass die Veränderung der Erregbarkeit nur nachgewiesen werden kann, wenn der Inductionsstrom aufsteigend ist, nicht wenn er absteigend ist. Das ist durch Folgendes bedingt: Bei aufsteigendem Inductionsstrom findet die Erregung bei Elektrode 2, d. i. im Bereiche des Katelektrotonus resp. Anelektrotonus an Elektrode 3 statt, daher tritt Erregbarkeitsänderung in Erscheinung, bei absteigendem Inductionsstrom dagegen bei Elektrode 1, d. i. ausserhalb des Bereiches des Katelektrotonus resp. Anelektrotonus. Die Erregung durch Inductionsströme geht also an der Kathode vor sich: Inductionsströme verhalten sich wie schwache Ströme im Sinne des Zuckungsgesetzes.

Sehr starke Inductionsströme können übrigens auch an der Anode erregen.

Anhang. Zuckungsgesetz der motorischen Nerven des Menschen.

Um die Wirkung des constanten Stroms auf die motorischen Nerven des lebenden Menschen zu studiren, legt man eine grosse Elektrode aus dünnem Metallblech, das mit feuchtem Tuch bedeckt ist, die sogenannte indifferente Elektrode, auf den Nacken, die Stirne oder das Brustbein auf, eine andere ebenso beschaffene kleine, die differente, dem zu untersuchenden Nerven. Wegen des grossen Widerstands des Körpers werden die zu elektromedicinischen Zwecken verwendeten Batterien aus vielen kleinen Elementen (meist Chromsäuretauchelementen) zusammengesetzt, die auf Schaltung hinter einander eingerichtet sind.

Untersucht man bei verschiedener Stromstärke die Einwirkung des constanten Stroms auf die motorischen Nerven, so erhält man

1. wenn die differente Elektrode die Kathode ist:

a) bei den schwächsten wirksamen Strömen ($^1/_2$—3 Milliampère) bei Schliessung eine Zuckung, die sogenannte Kathoden-Schliessungszuckung (KSZ);

b) die Oeffnungszuckung (KOZ) aber erst bei beträchtlich stärkerem Strom (7—10 Milliampère):

2. wenn die differente Elektrode die Anode ist: sowohl Schliessungs- als Oeffnungszuckung (ASZ und AOZ) bei mittlerer Stromstärke (2—$4^1/_2$ Milliampère).

Hier besteht scheinbar eine andere Zuckungsformel, als die für den ausgeschnittenen Froschmuskel geltende. Das hat seinen Grund darin, dass hier der Nerv nicht einfach in der Längsrichtung durchströmt wird, wie der ausgeschnittene Froschnerv, sondern dass er

1. von Stromschleifen quer und schräg durchflossen wird, mithin der Nerv gewissermassen zu beiden Seiten die Pole des Stromes hat, und dass

2. von der differenten Elektrode aus die Stromdichte nach allen Seiten hin schnell abnimmt, mithin am Nerven die Stromdichte auf der der differenten Elektrode zugekehrten Seite grösser ist, als auf der anderen.

Näheres darüber siehe in den Lehrbüchern der Elektromedicin, von denen hier erwähnt seien:

Kurze Compendien:

Rieger. Grundriss der medicinischen Elektricitätslehre, 3. Aufl. Jena 1893.

Hoorweg. Die medicinische Elektrotechnik. Leipzig 1893.

Grössere Lehrbücher:

v. Ziemssen, Die Elektricität in der Medicin.
Rosenthal und Bernhardt, Elektricitätslehre für Mediciner etc.
Lewandowski, Elektrodiagnostik und Elektrotherapie.

XVI. Kapitel.

Elektromotorische Eigenschaften thierischer Gewebe.

Die Methodik der Untersuchung der thierischen Elektricität ist hauptsächlich von Du Bois-Reymond ausgearbeitet. (Siehe dessen schon früher citirte Arbeiten.) Ferner sei verwiesen auf die Darstellung dieses Gegenstandes in Hermann's Handbuch d. Physiol., Bd. I und II.

1. Methoden zum Nachweis schwacher Ströme.

a) Das physiologische Rheoskop, der stromprüfende Froschschenkel.

Man kann elektrische Ströme nachweisen dadurch, dass man einen Nerven in den Kreis, in dem der Strom unserer Vermuthung nach sich bewegt, einschaltet und untersucht, ob bei Schliessung

und Oeffnung des Stromkreises der zugehörige Muskel zuckt. Dadurch erhalten wir aber nur Aufschluss über das Vorhandensein des Stroms, nicht über dessen Richtung und Stärke.

b) Galvanometer.

I. **Multiplicator.** Das Princip des Galvanometers ist S. 18 beschrieben. Zum Nachweis schwacher Ströme ist der Apparat so eingerichtet:

a) Der Strom wird in vielen tausend Windungen von feinem umsponnenem Draht, der auf ein Holzrähmchen gewickelt ist (W, Fig. 64), um die Magnetnadel herumgeführt. Das hat denselben Effect auf die Magnetnadel, als ob ein so viel stärkerer Strom, als Windungen vorhanden sind, in einer Windung die Nadel umkreist, daher wird das Instrument auch Multiplicator genannt.

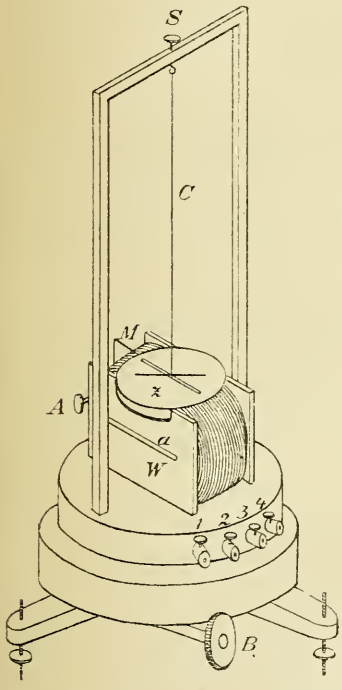


Fig. 64.

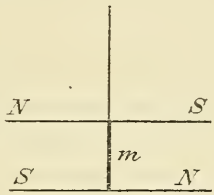


Fig. 65.

b) Als Magnetnadel wird ein sogenanntes astatisches Nadelpaar (Fig. 65) angewendet, das empfindlicher ist, als eine einfache Nadel. Es besteht aus zwei Nadeln, die parallel zu einander durch ein Mittelstück m so fest mit einander verbunden sind, dass der Nordpol der einen und der Südpol der anderen nach der gleichen Richtung sehen und ebenso der Südpol der einen und der Nordpol der anderen. Die Magnetnadeln hängen an einem langen Coconfaden (C. Fig. 64) so, dass die untere innerhalb der Windungen, die obere über den Windungen sich befindet. Die obere macht die Ablenkung sichtbar auf einem Zifferblatt Z mit Gradeintheilung. Die Anordnung beider Magnetnadeln ist so, dass die obere von dem

Strom im gleichen Sinne, wie die untere abgelenkt wird, beider Bewegungen also einander unterstützen.

Würde der Magnetismus beider Nadeln genau gleich und die Nadeln genau parallel sein, so würde das Nadelpaar in jeder Stellung schwingungslos verharren. Da aber die Astasie nie so vollkommen gemacht werden kann, so nimmt die Nadel eine bestimmte Gleichgewichtslage an; wird sie aus derselben herausgebracht und dann losgelassen, so schwingt sie pendelartig um diese Gleichgewichtslage und kommt schliesslich in derselben wieder zur Ruhe. Man stellt nun die Windungen mit dem Zifferblatt so ein, dass der Nullpunkt der Gradeintheilung in diese Gleichgewichtslage fällt und die Richtung der Windungen der Gleichgewichtslage der Nadel parallel ist. In Folge des Eisengehalts des Windungsdrahts oder dessen Umspinnung würde allerdings danach eine neue Ablenkung der Nadel auftreten, wenn man das nicht verhinderte durch einen sehr kleinen, dem Nullpunkt gegenüber angebrachten Hilfsmagneten M, dessen Einstellung von aussen her durch Schraube A möglich ist, ohne dass die das Instrument bedeckende Glasglocke, die in der schematisch gehaltenen Fig. 64 nicht mitgezeichnet ist, aufgehoben zu werden braucht.

Bei Nichtgebrauch des Apparats ist die Nadel so weit heruntergestellt, dass sie auf dem Zifferblatt aufliegt und sich nicht bewegt. Um sie für den Gebrauch einzustellen, windet man den Coconfaden an seinem oberen Ende mit einer Schraube S auf, bis die Nadel sich frei bewegen kann, und stellt dann die Windungen ein, was ohne Drehen des ganzen Apparats mit einer besonderen, aussen angebrachten Schraube B möglich ist. Man überzeuge sich, dass die Nadel frei schwingen kann, ohne irgendwo anzustossen; man erreicht das durch passende Einstellung der Schrauben an den drei Füssen, auf denen der ganze Apparat steht. Die untere Nadel kann man beim Einstellen beobachten durch den Spalt a in dem Holzrähmchen W.

An dem Apparat befinden sich aussen vier Polschrauben 1, 2, 3 und 4 zur Verbindung mit dem übrigen Stromkreis. Die Windungen bestehen nämlich aus zwei Drähten, der eine ist mit 1 und 3 in Verbindung, der andere mit 2 und 4. Will man beide Drähte in den Stromkreis einschalten, so verbindet man 2 und 3 durch einen Draht und schraubt an 1 und 4 die Enden des zu untersuchenden Leiterkreises fest. Diese Anordnung wird für sehr schwache Ströme getroffen, für stärkere schaltet man nur einen der beiden Drähte ein.

Das vorstehend beschriebene Instrument genügt für den Nachweis der Richtung und die ungefähre Bestimmung der Stärke der Ströme. Zu genauen Untersuchungen verwendet man ein noch feineres Instrument, nämlich

II. die Tangenten-Bussole mit Spiegelablesung. Princip der Spiegelablesung. Mit der Magnetnadel fest verbunden ist ein kleiner vertical stehender Spiegel (s. Fig. 66). Diesem gegenüber steht in einer Entfernung von 1—3 m ein Fernrohr F mit Fadenkreuz und darüber ein Massstab MM. Spiegel, Fernrohr und Massstab sind so aufgestellt, dass man durch das Fernrohr ein Spiegelbild des Massstabes sieht. Bei der Stellung, die der Spiegel in der Zeichnung einnimmt, sieht man den Punkt T in der Mitte des Spiegels. Dreht sich nun die Nadel mit dem Spiegel, so rückt ein anderer Punkt der Skala in die Mitte des Spiegels. Aus der Bestimmung beider Punkte mit Hilfe der Skala ergiebt sich die Ablenkung der Nadel.

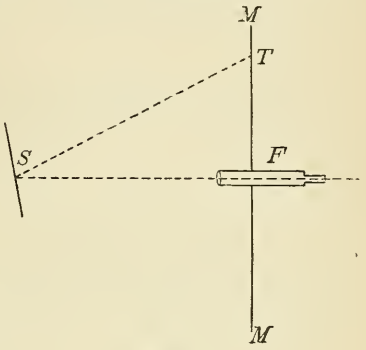


Fig. 66.

Bei den durch Du Bois-Reymond in die physiologische Technik eingeführten Wiedemann'schen Bussolen wird der Magnet gebildet durch einen Ring, der oben mit dem Spiegel durch ein schildkrotenes Zwischenstück verbunden ist und an einem Coconfaden hängt. Er befindet sich zwischen zwei mit einander durch Leitungsdraht verbundenen Drahtrollen, die auf kupferne Hülsen aufgewickelt und auf Schlitten beweglich sind. Je weiter die Rollen von dem Magneten entfernt sind, desto geringer ist die Empfindlichkeit. Dem Instrument sind verschiedene Rollen beigegeben, die man nach Bedarf verwendet: einige mit dickem, einige mit dünnem Draht, einige mit vielen, andere mit wenigen Windungen. Die kupferne Hülse, die sogenannte Dämpfhülse, hat den Zweck, die Zahl der Schwingungen, die der Magnet um die neue Gleichgewichtslage ausführt, ehe er sich in diese einstellt, zu verringern, oder gar den Magnet aperiodisch zu machen, d. h. die Schwingungen ganz aufzuheben.

Die Bussole wird auf einem Pfeiler oder Consol so aufgestellt, dass der Magnetring im magnetischen Meridian steht und die Richtung

des Schlittens senkrecht darauf. Ihm gegenüber stehen Skala und Fernrohr, so dass man die Mitte der Skala im Spiegel sieht.

Die **Astasirung** geschieht mittels eines Magnetstabes, des sogenannten **Hauy'schen Stabes**, der an einem Stativ in der Nähe des Instrumentes so angebracht wird, dass sein Nordpol dem Südpol der Erde zugewendet ist. Dadurch wird die Wirkung des Erdmagnetismus auf die Nadel vermindert resp. aufgehoben. Man hat vor dem Versuch den Hauy'schen Stab so einzustellen, dass der für die Versuchszwecke erwünschte Grad der Astasie erreicht ist.

Bei diesem Instrument sind bei kleinen Nadelausschlägen die Stromstärken proportional den trigonometrischen Tangenten der Ausschlagwinkel. In unseren Versuchen kommen nur solche kleine Ausschläge in Betracht. Steht die Skala parallel der Ebene, in der der Spiegel in Ruhestellung steht, so sind die Tangenten proportional den Ausschlägen der Nadel in Skalatheilen angegeben. Dieser Ausschlag in Skalatheilen giebt uns also ohne weitere Umrechnung ein Mass der Stromstärke. Näheres über diese Bussole siehe bei Du Bois-Reymond, Ges. Abhandl. Bd. I.

III. Zur Untersuchung der elektromotorischen Kräfte thierischer Gewebe kann auch **Lippmann's Capillar-Elektrometer**[1]) (Fig. 67) dienen. Eine senkrecht stehende, beiderseits offene, am unteren Ende zu einer Capillare ausgezogene Glasröhre G ist mit Quecksilber etwa bis zur Hälfte gefüllt; das Quecksilber fliesst nicht durch die Capillare aus, sein unterer Meniscus steht in dem Capillarrohr und grenzt an angesäuertes Wasser. Das Glasrohr taucht mit seinem unteren Ende in ein Gefäss, in dem sich das angesäuerte Wasser befindet. Leitet man einen elektrischen Strom in der Richtung von dem angesäuerten Wasser zum Quecksilber hindurch, so wird durch Polarisation an der Grenze von Quecksilber und Wasser in der Capillare die Capillaritäts-Constante geändert und in Folge dessen steigt der Queck-

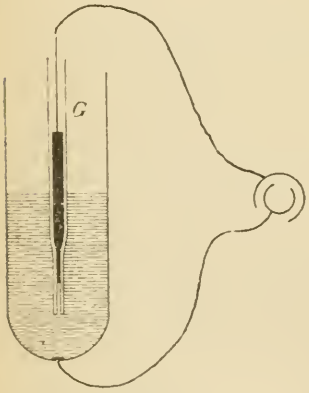


Fig. 67.

[1]) Annal. d. Physik, CXLX, S. 551. 1873.

silbermeniscus. Die Bewegung des Quecksilbermeniscus wird durchs Mikroskop beobachtet. Die genaue Messung dieser Bewegung geschieht mit Ocularmikrometer.

Um das Capillarelektrometer herzurichten, giesst man in die Röhre mit der Capillare das Quecksilber hinein und stellt sie darauf in das angesäuerte Wasser. Nun befindet sich aber zwischen Quecksilbermeniscus und Wasser in der Capillare noch Luft, die verdrängt werden muss, damit der Meniscus von Wasser berührt wird. Es geschieht das so, dass auf das Quecksilber ein Druck ausgeübt wird, dem zu Folge der Meniscus sinkt bis zur unteren Oeffnung der Capillare und die Luft austreibt. Lässt der Druck nach, so steigt der Meniscus und es dringt in die Capillare Wasser ein. Die Ausübung des Drucks geschieht in derselben Weise, wie bei der S. 137 beschriebenen Bestimmung der elektromotorischen Kraft mit dem Capillarelektrometer.

2. Allgemeine Regeln für die Untersuchung der thierischen Elektricität.

Hauptregel bei den Untersuchungen der elektromotorischen Eigenschaften der Organe ist: Es darf in dem Stromkreis von dem Gewebsstück zum Galvanometer und zurück nirgends eine Stelle sein, die Elektricität erregt, weil dadurch elektromotorische Kräfte der Organe vorgetäuscht werden könnten, die nicht in den Organen selbst, sondern nur in der Leitung von dem Organ zur Bussole ihre Ursache haben. Man hat deshalb immer durch einen Vorversuch festzustellen, dass ausser im thierischen Gewebsstück nirgends in der Leitung elektromotorische Kräfte ihren Sitz haben.

Man verwendet unpolarisirbare Elektroden in passender Form, Stiefelelektroden oder die Zuleitungsgefässe Du Bois-Reymond's. Die Elektroden werden durch zwei Drahtleitungen mit dem Galvanometer verbunden, in die eine wird ein Schlüssel eingeschaltet.

Vorversuch. Man verbindet die beiden Elektroden zunächst, statt durch das Gewebsstück, durch einen Bausch Fliesspapier, der mit physiologischer Kochsalzlösung getränkt ist, und schliesst den Kreis. Dann darf die Nadel keinen Ausschlag geben, wenn die Leitung in gewünschter Weise hergestellt ist.

Danach verbindet man die Elektroden durch das zu untersuchende Gewebsstück und stellt den eigentlichen Versuch an.

3. Ströme des ruhenden Muskels und Nerven.

a) Nachweis der Ströme am Sartorius mit Multiplicator.

Präparat. Sartorius, der an beiden Enden abgeschnitten wird (künstlicher Querschnitt). Als Galvanometer benutzt man für

die folgenden Versuche am besten den Multiplicator. Man schalte zunächst nur einen Draht des Multiplicators in den Stromkreis ein; sollte der Strom sich so schwach erweisen, dass damit ein erheblicher Ausschlag der Nadel nicht erhalten wird, so kann man immer noch nachher leicht die beiden Drähte einschalten.

Man mache der Reihe nach folgende Versuche bei verschiedener Lage der Elektroden (Fig. 68).

a) Die eine Elektrode wird der Mitte des Querschnittes Q angelegt, die andere der Mitte des natürlichen Längsschnitts L.

b) Beide Elektroden werden dem Längsschnitt (2) oder beide ein und demselben Querschnitt (3) oder die eine dem einen Querschnitt, die andere dem anderen (4) angelegt, und zwar einmal so,

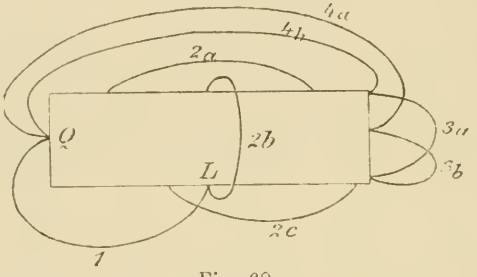


Fig. 68.

dass sie von der Mitte gleich weit entfernt sind (symmetrische Anordnung 2a und b, 3a, 4a), und zweitens so, dass sie von der Mitte ungleich weit entfernt (asymmetrische Anordnung 2c, 3b, 4b).

Für jede Lage wird der Ausschlag der Nadel bestimmt: es ergiebt sich:

Bei symmetrischer Anordnung gar kein oder nur ein sehr schwacher Strom.

Bei unsymmetrischer Anordnung ein stärkerer Strom und die stärksten Ströme bei der unter a) beschriebenen Anordnung.

Ferner wird für jeden Einzelversuch auch die Richtung, nach der die Nadel ausschlägt, und damit auch die **Stromrichtung** bestimmt. Damit dies geschehen kann, muss noch ein besonderer Versuch angestellt werden, in dem man die Richtung des Nadelausschlags für eine bekannte Stromrichtung feststellt. Man leitet den Strom eines Elements, dessen Pole man kennt, durch die Windungen hindurch. Da der ganze von einem Elemente gelieferte Strom zu stark sein dürfte und die Nadel leicht in Unordnung bringt, so giebt man dem Strom in den Windungen bei diesem

Versuche eine passende Stärke mit Hilfe eines als Nebenleitung eingeschalteten Rheochords oder Rheostaten.

Die Bestimmung der Stromrichtung beim Muskelstrom ergiebt, dass der Strom in der äusseren Leitung immer von der der Längsschnittmitte näher gelegenen Stelle zur entfernteren resp. zum Querschnitt geht. Es verhält sich der Querschnitt negativ zum Längsschnitt.

Nun schneide man den Muskel in seiner Mitte quer durch und stelle von Neuem den Versuch an mit einer der Hälften. Man nimmt wahr, dass der neue Querschnitt sich nun gerade so verhält, wie die beiden alten, auch negativ geworden ist, während diese Stelle vor der Durchschneidung positiv war. Die positive Stelle liegt jetzt wieder in der Mitte des untersuchten Stücks.

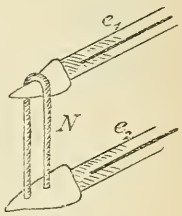


Fig. 69.

Dieselben Versuche lassen sich auch am ausgeschnittenen Nerven anstellen, nur sind hier die Ströme viel schwächer. Um hier bei Ableitung von Quer- und Längsschnitt einen stärkeren Ausschlag zu bekommen, kann man auch die beiden Querschnitte der einen, die Mitte des Längsschnitts der anderen Elektrode anlegen in der in Fig. 69 dargestellten Weise; e_1 und e_2 sind die beiden Elektroden, der Nerv N ist in der Mitte über e gelegt, seine Enden berühren e_2.

b) Stromlosigkeit unversehrter Muskeln.

Um diese nachzuweisen, ist es nöthig, den Muskel in keiner Weise bei der Präparation zu verletzen — nicht einmal durch Berührung mit der Haut des Frosches, auf der das ätzende und daher den Muskel schädigende Hautsecret sich befindet. Man darf den Muskel daher auch nicht berühren mit Instrumenten oder Fingern, die mit der Haut in Berührung gewesen sind.

Am besten eignet sich zu dem Versuche der Gastrocnemius von ganz frischen Fröschen mit röthlich gefärbten, durchscheinenden Muskeln. Derselbe wird schnell aber vorsichtig in üblicher Weise enthäutet, nun der ganze Schenkel ohne weitere Präparation so gehalten, dass die Elektroden dem Muskel anliegen. Man bekommt keinen Strom, wo auch immer man die Elektroden anlegt. Dagegen ist der Strom sofort nachzuweisen, sowie die eine der von den Elektroden berührten Stellen durch Anschneiden oder Anätzen

z. B. mit concentrirter Kochsalzlösung oder dergl. geschädigt wird. und zwar verhält sich die geschädigte Stelle negativ zu allen anderen. Man darf also annehmen, dass die Negativität durch die Schädigung oder das Absterben bedingt ist.

c) Nachweis des ruhenden Muskelstroms durch das physiologische Rheoskop.

Man stellt sich einen langen (1, Fig. 70) und zwei kurze (2, 3) Fliesspapierbäusche, die mit Kochsalzlösung getränkt werden, her und ordnet sie auf einer Glasplatte so an, wie Fig. 70 es zeigt.

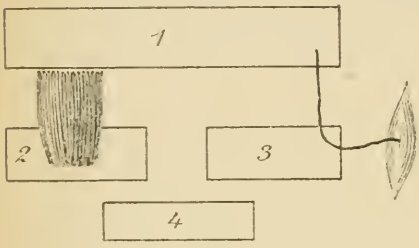


Fig. 70.

Nun wird der Muskel M mit seinem Längsschnitt auf Bausch 2, mit dem einen Querschnitt auf Bausch 1, der Nerv des physiologischen Rheoskops auf Bausch 1 und 3 gelegt und durch einen vierten Fliesspapierbausch eine Verbindung zwischen 2 und 3 hergestellt. Jedesmal beim Auflegen oder beim Abheben von Bausch 4, d. i. bei Schliessen oder Oeffnen oder bei beiden zuckt der Muskel des stromprüfenden Froschschenkels.

Noch einfacher kann man den Versuch so anstellen, dass man den Nerven auf Quer- und Längsschnitt des Muskels zugleich auffallen lässt oder ihn davon abhebt. Dann stellt der Nerv allein den äusseren Schliessungsbogen des ruhenden Muskels her. Oder man kann sogar als stromerregenden Muskel den Gastrocnemius eines Nervmuskelpräparats selbst benutzen und den zugehörigen Nerven durch Auflegen auf Längs- und Querschnitt reizen, so dass der Muskel durch seinen eigenen Strom erregt wird.

Erregung des Muskels durch seinen eigenen Strom kann man auch so erreichen, dass man den Querschnitt und ein Stück des Längsschnitts plötzlich in eine indifferente Flüssigkeit taucht. Die Flüssigkeit stellt die äussere Schliessung her, der Muskel zuckt danach. Man präparirt zu dem Zwecke einen Sartorius und hängt ihn auf. An seinem unteren Ende legt man einen Querschnitt an. Ein kleines Becherglas wird mit Kochsalzlösung gefüllt und plötzlich so weit emporgehoben, dass das untere Ende des Muskels eintaucht. Der Muskel zuckt.

d) Messung der elektromotorischen Kräfte thierischer Gewebe.

1. Compensations-Methode von Poggendorf und Du Bois-Reymond. Princip der Methode. Es sei der Muskel in elektromotorisch wirksamer Anordnung in einen Leiterkreis eingeschaltet, in dem sich auch die Bussole befindet. Nun denke man sich in dem Leiterkreis irgendwo eine zweite elektromotorische Kraft, die aber einen Strom erzeuge, der dem Muskelstrom entgegengesetzt ist. Wenn die beiden entgegengesetzten Ströme sich gerade compensiren, so dass die Nadel nun keinen Ausschlag mehr giebt, so müssen die beiden elektromotorischen Kräfte genau gleich sein. Wenn wir demnach im Stande sind, eine solche zweite elektromotorische Kraft in den Kreis einzuführen, ihre Grösse so gross zu machen, dass die Nadel nicht ausschlägt, und sie genau zu messen, so haben wir damit die elektromotorische Kraft des Muskels bestimmt.

Die Einführung der zweiten elektromotorischen Kraft geschieht mit Hilfe eines Elements von bekannter Spannung, z. B. eines Daniell, dessen Spannung 1,1 Volt beträgt, nach folgendem Princip: Es seien die Pole des Elements verbunden durch einen Draht, so dass der Strom durch denselben hindurchgeht. Eine Elektricitätsbewegung durch den Draht ist nun dann nur möglich, wenn in allen Querschnitten derselben verschiedene elektrische Spannungen existiren. Die Spannungsdifferenz zwischen zwei Querschnitten des Leitungsdrahtes ist um so grösser, je weiter die Querschnitte aus einander liegen, am grössten an den beiden Enden, d. i. den Polen des Elements. Nun lässt sich leicht ein Querschnittpaar denken, dessen Spannungsdifferenz genau gleich der Spannung, d. i. der elektromotorischen Kraft des zu untersuchenden Muskels ist. Verbindet man diese beiden Querschnitte neben der schon vorhandenen noch durch eine Leitung, in die Muskel und Bussole eingeschaltet sind, so giebt die Nadel keinen Ausschlag.

Anordnung des Versuchs. Die Bestimmung eines solchen Querschnittpaares wird so ausgeführt: Die Pole des Elements D (Fig. 71) seien verbunden mit den Enden A und B des Drahtes eines einfachen Rheochords; das eine Ende A sowie der Schieber C des Rheochords aber mit der Leitung durch Muskel M und Galvanometer G. Der vom Element erzeugte Strom muss so gerichtet sein, dass er in dem Zweige A M G C dem Muskelstrom entgegengesetzt ist. Durch Verschieben des Schlittens C auf dem Rheochord-

draht kann man nun die Stellung von C ausfindig machen, bei der die Nadel des Galvanometers keinen Ausschlag giebt. Dann ist die Spannungsdifferenz zwischen A und C gleich der durch den Muskel erzeugten elektrischen Spannung.

Nun handelt es sich darum, die Spannungsdifferenz zwischen A und C zu bestimmen. Es sei diese Spannungsdifferenz e. Um unsere Betrachtung zu vereinfachen, können wir die Annahme machen. A und C seien die Pole eines Elements, dessen Polspannung mithin e wäre und das in dem Stücke Rheochorddraht A C einen Strom erzeugt von der Stärke i. Der Widerstand des

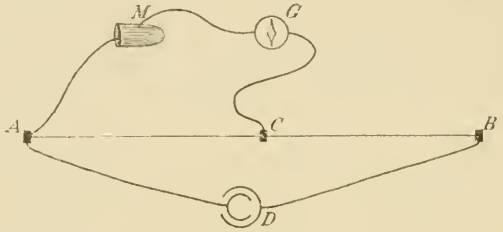


Fig. 71.

Drahtstückes A C sei w. Da in der Zweigleitung A M G C kein Strom vorhanden ist, so können wir diese ganz ausser Acht lassen. Denn weil die vom Muskel ausgehende elektromotorische Kraft der vom Element stammenden in A und C gerade das Gleichgewicht hält, so geht nichts von der Elektricität des Elements durch die Leitung A M G C, sondern alles durch das Drahtstück A C. Mithin ist

$$i = \frac{e}{w}.$$

Nun wenden wir ferner auf den ganzen vom Element erzeugten Strom auch das Ohm'sche Gesetz an. Es sei E dessen elektromotorische Kraft, J die Stromstärke, W der Widerstand. Aus dem eben entwickelten Grunde können wir auch hier die Zweigleitung A M G C ausser Acht lassen. W ist demnach der Widerstand des ganzen Rheochorddrahtes, des Elements und deren Verbindungsstücke (D A C B D), J die Stromstärke in dieser Leitung. Es ist nun

$$J = \frac{E}{W}.$$

i und J sind nun aber gleich; sie bedeuten beide die Stromstärke

in demselben Stück der Leitung, nämlich in dem Drahtstück A C, mithin ist

$$\frac{e}{w} = \frac{E}{W} \text{ oder } e = \frac{E \cdot w}{W}.$$

Wir können demnach e, d. i. die Spannungsdifferenz zwischen A und C, resp. die elektromotorische Kraft des Muskels berechnen, wenn wir kennen:

1. E die Polspannung des Elements, d. i. für das angewandte Daniell'sche Element 1,1 Volt.

2. Das Verhältniss $\frac{w}{W}$. Nennen wir W_1 den Widerstand des ganzen Rheochorddrahtes A B, so genügt es, wenn wir das Verhältniss $\frac{W_1}{W}$ kennen, denn es ist $\frac{w}{W} = \frac{w}{W_1} \cdot \frac{W_1}{W}$. $\frac{w}{W_1}$ kann im speciellen Falle ohne Weiteres bestimmt werden; es ist gleich dem Verhältniss der Drahtlängen $\frac{A C}{A B}$, weil der ganze Draht in allen Querschnitten gleich ist und daher den gleichen Widerstand bietet. Die Drahtlängen werden gemessen mit Hilfe des am Rheochord angebrachten Massstabes.

Die Bestimmung von $\frac{W_1}{W}$ nennt man die Graduirung der Compensationsvorrichtung, sie geschieht so: Man schaltet in eine der Leitungen vom Element zur Batterie eine Rolle R_3 (Fig. 72,

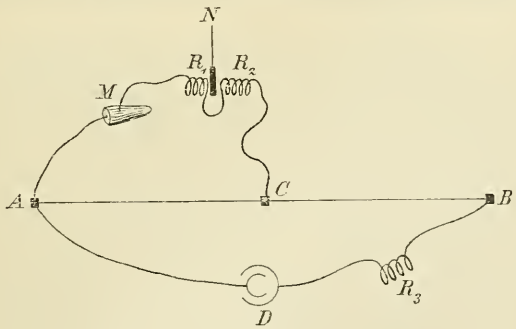


Fig. 72.

eine solche von wenigen Windungen) ein. Während der Leiterkreis AMR_1R_2C geöffnet ist, nimmt man die Rollen R_1 und R_2 von der Bussole weg und ersetzt sie durch die Rolle R_3 — die, wohlbemerkt, in dem Kreise ADB währenddessen eingeschaltet

bleibt — und bestimmt den Ablenkungswinkel. In einem zweiten Versuche wird das Ende des Drahtes, in dem die Rolle R_3 eingeschaltet ist, mit A statt mit B verknüpft, so dass der Strom vom Element durch den einen Draht zu A, durch den anderen zum Element zurückgeht und nicht mehr durch A B kommt. Auch hier wird der Ablenkungswinkel bestimmt. Es sei die Stromstärke im ersten Falle J, im zweiten J_1, dann ergiebt sich das Verhältniss $\frac{J}{J_1}$ aus diesen Messungen als das Verhältniss der Tangenten der entsprechenden Ablenkungswinkel.

Nun ist $J = \frac{E}{W}$

$J_1 = \frac{E}{W - W_1}$ (weil in letzterem Falle W_1 aus dem Stromkreise ausgeschaltet war), folglich

$$J : J_1 = \frac{E}{W} : \frac{E}{W - W_1} = (W - W_1) : W.$$

Daraus ergiebt sich:

$$\frac{W_1}{W} = \frac{J_1 - J}{J}.$$

Da sich der Ausdruck $\frac{J_1 - J}{J}$ aus den Tangenten der beiden Ablenkungswinkel berechnen lässt, so ist damit das gesuchte Verhältniss $\frac{W_1}{W}$ oder die Graduationsconstante des Apparates bestimmt.

2. Der runde Compensator von Du Bois-Reymond dient zu genaueren Messungen elektromotorischer Kräfte nach dem eben beschriebenen Principe. Der Rheochorddraht ist hier kreisförmig gebogen. $S r_1 O$ in Fig. 73 stellt diesen Draht dar. Seine beiden Enden O und S sind mit den Messingklötzen ν und τ verbunden, die davon isolirten Klötze 1 und 2 mit den beiden Schraubenklemmen I und II, zu denen die Poldrähte des Elements D führen. Steckt man zwischen die Klötze 1, ν, 2 und τ diametral gegenüber zwei Zapfen, so fliesst der Strom im kreisförmigen Draht in der einen oder anderen Richtung, je nachdem die Zapfen stecken. In Fig. 73 geht der Strom in der von den Pfeilen angedeuteten Richtung durch den kreisförmigen Draht. Steckt man aber den einen Stöpsel zwischen 1 und τ, den andern zwischen 2 und ν, so geht er in umgekehrter Richtung. Diese Vorrichtung dient als Strom-

wender, der den Zweck hat, in bequemer Weise den Strom des Elements dem Muskelstrome entgegengesetzt zu machen. An dem kreisförmigen Draht rollt nun federnd angelegt ein Platinröllchen r, das auf einem Arme steckt, der um eine den Mittelpunkt des Kreises enthaltende Axe drehbar ist. Dieser Arm trägt zugleich eine Lupe, um die Theilung abzulesen, auf einer Scheibe, um deren Rand der kreisförmige Draht gelegt ist. r ist verbunden mit der Klemmschraube III, O mit IV. Mit III und IV wird verbunden die Lei-

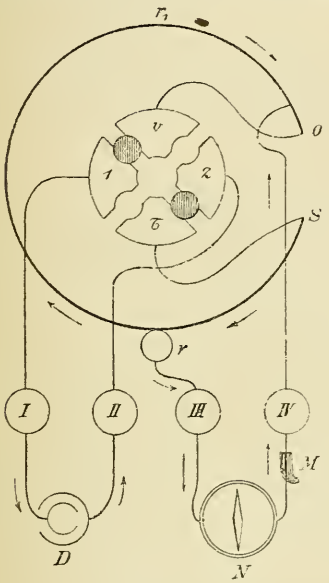


Fig. 73.

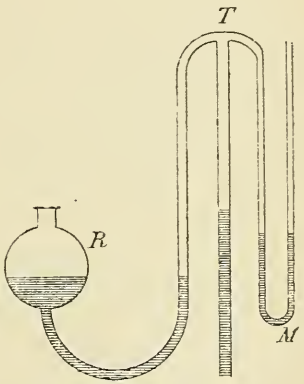


Fig. 74.

tung, in die die Bussole N und der Muskel M eingeschaltet ist. Die Anstellung des Versuches gestaltet sich ganz analog wie die mit dem einfachen Rheochord.

Der Kreis, der das Präparat enthält, bleibt nicht während des Verschiebens der Rolle r geschlossen, sondern wird in einem eingeschalteten Schlüssel geöffnet, damit sich nicht störende Polarisation entwickelt. Er wird nur allemal für einen Augenblick geschlossen, nachdem man der Rolle r eine neue Stellung gegeben hat. Man macht diejenige Stellung der Rolle r ausfindig, bei der der Ausschlag des Galvanometers Null ist.

3. Messung der elektromotorischen Kraft mit Lippmann's Capillarelektrometer. Beim Capillarelektrometer ist der zur Wieder-

herstellung der ursprünglichen Lage der Quecksilberkuppe erforderliche, auf das Quecksilber auszuübende Druck der elektromotorischen Kraft proportional.

Um den Druck zu verändern, verbindet man die obere Oeffnung der Glasröhre, die das Quecksilber enthält, mit einem Schenkel eines T-Rohres (T Fig. 74). Der zweite Schenkel desselben wird verbunden mit einem Quecksilbermanometer M, der dritte durch einen engen dicken Kautschukschlauch mit einem kugelförmigen Reservoir R, das auch Quecksilber enthält und das beliebig gehoben und gesenkt werden kann. Hebt man R, so steigt der Druck in der ganzen Röhrenleitung und in Folge dessen sinkt das Quecksilberniveau in der Capillare. Die Drucksteigerung kann genau bestimmt werden am Manometer.

Der Versuch wird so angestellt, dass man zunächst den Druck gleich dem atmosphärischen macht, so dass die Niveaus des Quecksilbers im Manometer gleich hoch stehen. Man bestimmt genau den Stand des Quecksilbers in der Capillare. Nun lässt man den zu untersuchenden Strom durch das Capillarelektrometer hindurchgehen, die Quecksilberkuppe in der Capillare steigt. Nun wird R gehoben, so lange, bis das Quecksilber in der Capillare wieder auf seinem Stand vor Durchleitung des Stromes angekommen ist. Dann wird die Differenz der Quecksilberniveaus des Manometers mit Hilfe der daran angebrachten Skala bestimmt; der Druck, der in Millimeter Hg gemessen wird, sei d_1. Um daraus die elektromotorische Kraft e berechnen zu können, muss man den Apparat graduiren. Das geschieht durch ein Element von bekannter Spannung, z. B. ein Daniell, dessen Spannung gleich 1,1 Volt ist. Damit macht man den analogen Versuch. Der erhaltene Druck sei d_2. Dann ist

$$e = \frac{d_1}{d_2} \cdot 1{,}1 \text{ Volts.}$$

4. Ströme des thätigen Muskels und Nerven.

a) Negative Schwankung oder Actionsstrom des Muskels.

An dem Muskel eines Nervmuskelpräparats wird ein künstlicher Querschnitt angelegt, dann zwei unpolarisirbare Elektroden mit diesem Querschnitt und einer Stelle der Längsoberfläche, wie in dem Versuch S. 39, verbunden durch Baumwollfäden, die mit Kochsalzlösung getränkt sind, damit die Lage der Elektroden sich nicht bei Contraction des Muskels ändert. Nun bestimmt man den

ruhenden Muskelstrom mit dem Multiplicator. Darauf wird der Nerv mit Inductionsströmen tetanisirt in bekannter Weise, die Nadel geht in der Richtung nach dem Nullpunkt zurück. Dieses Phänomen, die sogenannte negative Schwankung oder der Actionsstrom, lehrt, dass gereizte Stellen des Muskels sich elektrisch negativ gegen ruhende verhalten.

Mit besonders empfindlichen Bussolen (Wiedemann'sche) oder mit dem Capillarelektrometer lässt sich in analoger Weise die negative Stromesschwankung auch bei einer Einzelzuckung nachweisen.

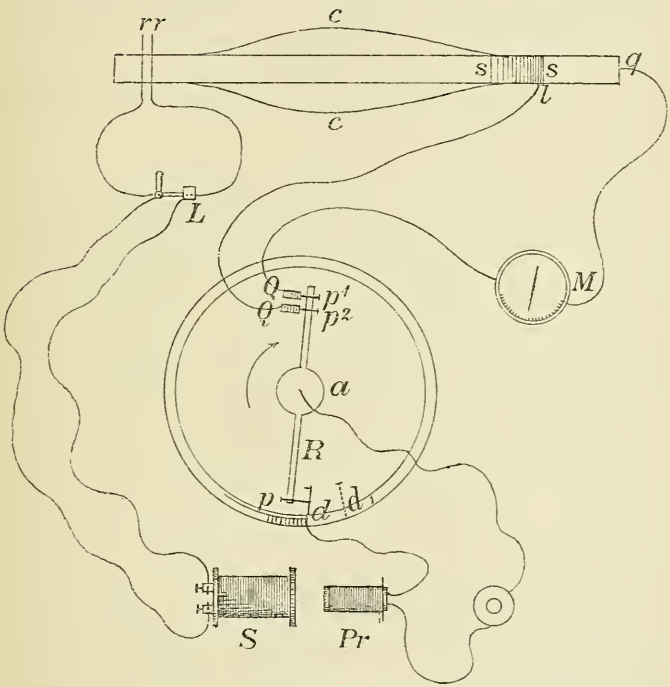


Fig. 75.
Aus Bernstein, Lehrbuch der Physiologie.

Die Bestimmung des zeitlichen Verlaufs der negativen Schwankung geschieht mit dem Differentialrheotom von Bernstein (siehe Pflüger's Archiv, Bd. I).

Der Apparat, in Fig. 75 von oben gesehen schematisch abgebildet, besteht aus einem Messingrad R, das sich um eine senkrechte Axe a dreht und mittels Schnurlauf durch irgend einen Motor (Elektromotor, Uhrwerk) in gleichmässige Drehung versetzt wird. An dem Rade sind angebracht:

1. Der Contact für den Reizstrom, bestehend in einer feinen

Metallspitze p, die bei der Rotation des Rades über einen Metalldraht d quer hinübergleitet und dadurch den primären Stromkreis Pr für kurze Zeit schliesst. Die beiden dadurch erzeugten Inductionsströme werden dem Präparate zugeführt. Die beiden Schläge folgen so schnell auf einander, dass man sie als einen momentanen Reiz betrachten kann. Der Draht d befindet sich auf einem Schieber, der um die ganze Peripherie der Grundscheibe des Apparats geschoben werden kann.

2. Ein Metallbügel, dessen nach abwärts sehende Enden p_1 und p_2 bei der Rotation des Rades kurze Zeit in die Quecksilbergefässe Q Q eintauchen und dadurch periodisch den Nerv- resp. Muskelstrom von den Punkten l q des Nerven resp. Muskels dem Multiplicator M zuleiten.

Wenn der Apparat gleichmässig gedreht wird, so wird in regelmässigen Intervallen der Nerv- resp. Muskelstrom für kurze Zeit geschlossen. Geschieht die Rotation 5—10 Mal in der Secunde, so nimmt die Nadel eine constante Ablenkung an. Die durch den Nadelausschlag angegebene Stromstärke ist proportional der mittleren Stromstärke während der Dauer der Schliessung. Der Nadelausschlag ist daher am grössten, wenn die Schliessung des Nerv- resp. Muskelstroms in eine Zeit fällt, in der keine negative Schwankung statt hat, er wird um so kleiner, je mehr die Schliessungszeit mit der Zeit des Maximums der negativen Schwankung zusammenfällt. Die Zeit, während der der Nerv- resp. Muskelstrom geschlossen ist, ist kleiner als die ganze Dauer der negativen Schwankung; man kann daher die ganze Zeit der Dauer der negativen Schwankung zerlegen in eine Zahl von Zeitabschnitten, während deren man die mittlere Stromstärke durch die Nadelausschläge ausgedrückt bestimmen kann. Construirt man eine Curve, deren Ordinaten die mittleren Stromstärken, deren Abscissen die zugehörigen mittleren Zeiten für diese Stromstärken sind, so giebt diese Curve den Verlauf der negativen Schwankung an.

Um die Bestimmung der mittleren Stromstärke während verschiedener Zeitabschnitte der Dauer der negativen Schwankung so machen zu können, muss man die Zeit, die vom Reizmoment bis zur Schliessung des Nerv- oder Muskelstroms vergeht, variiren können. Das geschieht durch Verstellen des Schiebers mit dem Drahte d. Wenn man den Contact in d so einstellt, wie es die Figur zeigt, so dass die Spitzen $p_1 p_2$ bei der Rotation in der Richtung des Pfeils in dem Momente das Quecksilber verlassen, wo der Reizcontact geschlossen wird,

so ist die negative Schwankung bereits abgelaufen, ehe der Nerv- resp. Muskelstrom nach einer ganzen Umdrehung des Rades wieder geschlossen wird. Stellt man aber den Contact d in die Stellung d_1, so dreht sich das Rad nur um den kleinen Winkel $d_1 a d$, bis die Oeffnung des Muskelkreises erfolgt, und wenn nun in dieser Zeit die Reizwelle bis zur Stelle 1 vorgeschritten ist, so wird am Multiplicator der Beginn der negativen Schwankung sichtbar werden. Schiebt man den Contact noch weiter über d_1 hinaus, so wird man den Zeitmoment für das Maximum der negativen Schwankung und ebenso für das Ende derselben herausfinden. Da bei jeder Rotation

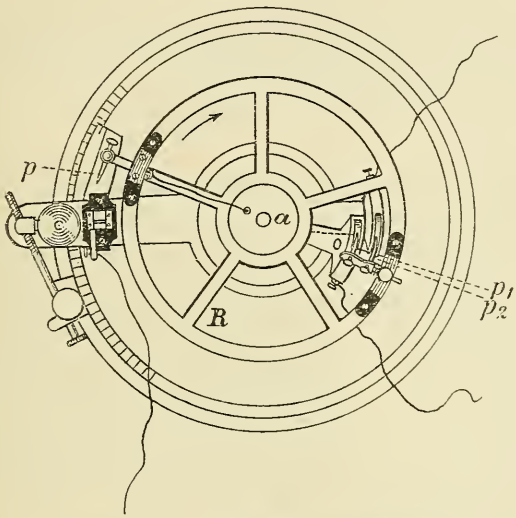


Fig. 76.
Aus Bernstein, Lehrbuch der Physiologie.

der Vorgang in derselben Weise abläuft, so summiren sich die Ablenkungen der einzelnen Schwankungen zu einer messbaren Grösse. Ein einzelner Reiz dagegen würde nicht ausreichen, um eine zur genauen Messung genügende Ablenkung zu geben.

Fig. 76 zeigt die Construction des Rheotoms in der Ansicht von oben.

Der ursprünglich von Bernstein so construirte Apparat ist später in einigen Theilen geändert worden, aber in solcher Weise, dass das Princip des Apparats nicht dadurch berührt ist. Die Aenderungen betreffen die Art der Contacte.

Einige besonders zweckmässige Aenderungen sind von Schönlein angegeben worden (siehe Pflüger's Archiv, Bd. 45, S. 144 und B. Wapler, Beiträge zur Kenntniss der tetanischen Erregungsvorgänge im Froschmuskel. Diss. Würzburg 1890), nämlich:

1. Statt eines Reizcontactes sind deren drei am Apparate angebracht, deren Entfernung von einander, und damit das Reizintervall, verändert werden kann.

2. Gleichzeitig mit dem Rad wird eine um dieselbe Axe bewegliche Trommel gedreht, auf der die Verkürzung des Muskels graphisch registrirt werden kann.

3. Der Stromkreis durch das Präparat und die Bussole ist fortwährend geschlossen. Der Strom wird von der Bussole aber abgeblendet durch eine gut leitende Nebenleitung, die durch die Bewegung des Rheotoms rhythmisch für kurze Zeit in einem Federcontact geöffnet wird, so dass während der kurzen Zeit der Oeffnung der Nebenleitung der Strom auf die Bussole wirkt.

Ein von Hermann ersonnenes Verfahren zur graphischen Registrirung des Verlaufs der negativen Schwankung durch Aufzeichnung der Nadelbewegung siehe bei Matthias, Pflüger's Archiv, Bd. 52.

Der zeitliche Verlauf der negativen Schwankung kann auch in der Weise registrirt werden, dass man die Bewegung der Quecksilberkuppe des Capillar-Elektrometers photographisch auf eine vorbeibewegte lichtempfindliche Platte registrirt.

Siehe darüber: Burdon Sanderson und Pace, Journal of Physiology, Bd. 4, S. 327.

b) Secundäre Zuckung. Secundärer Tetanus.

Zwei Nervmuskelpräparate oder stromprüfende Froschschenkel werden so an einander gelegt (Fig. 77), dass der Nerv des einen dem Muskel des andern anliegt. Wenn man nun den Nerven des letzteren reizt, contrahiren sich die Muskeln beider Präparate. Die Reizung kann man mechanisch oder elektrisch (mit Inductionsströmen) vornehmen und entweder Einzelzuckungen oder Tetanus so zu Stande bringen. Der nicht direct gereizte Nerv wird erregt durch den Actionsstrom des ihm anliegenden Muskels.

Fig. 77.

c) Actionsstrom des Nerven

wird in derselben Weise nachgewiesen wie beim Muskel.

Nachweis mit Wiedemann's Bussole oder Capillarelektrometer. Die eine Elektrode wird dem künstlichen Querschnitt an einem Ende angelegt, die andere der natürlichen Längsoberfläche, dann das andere Ende des Nerven mit Inductionsströmen gereizt; es erfolgt negative Schwankung der Nadel.

XVII. Kapitel.

Bestimmung des Leitungswiderstandes von Nerv und Muskel.

Siehe Hermann, Archiv f. d. ges. Physiol., Bd. V, S. 223. 1871.

Princip der Wheatstone'schen Brücke. Es sei E (Fig. 78) ein Element, von dessen Polen die Leitung zunächst nach dem Punkte a und b führt. a und b sind mit einander verbunden durch zwei Leitungen, die eine geht von a über c, die andere über d nach b. Hier findet die Verzweigung des Stromes statt.

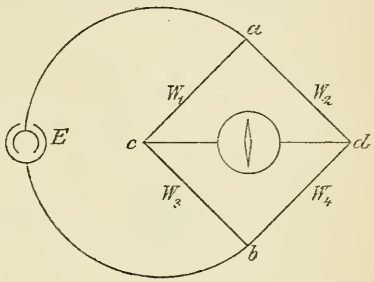


Fig. 78.

In den beiden Zweigen befinden sich verschiedene Widerstände. Wenn der Strom von a durch die Zweige nach b geht, so ist die elektrische Spannung in a grösser als in b und nimmt auf dem Wege durch die beiden Zweige continuirlich ab, aber, da die Widerstände ungleich sind, mit verschiedener Geschwindigkeit. Nun kann man aber auf beiden Zweigen Punktpaare finden, die gleiche Spannung haben. Es seien c und d ein solches Punktpaar. Verbindet man c und d durch einen Draht, die sogenannte Wheatstone'sche Brücke, so geht kein Strom durch diesen Draht durch, ein in ihn eingeschaltetes Galvanometer giebt keinen Ausschlag. Zwischen den Widerständen der Leitungen ac, ad, bc, bd, die mit W_1, W_2, W_3, W_4 bezeichnet werden sollen, besteht nun in diesem Falle eine einfache Beziehung, die sich ausdrücken lässt in der Formel:

$$W_1 . W_4 = W_2 . W_3 \text{ oder}$$

$$W_1 = W_2 . \frac{W_3}{W_4}.$$

Ist also W_1 unbekannt, so lässt er sich berechnen, wenn wir W_2 und das Verhältniss $\frac{W_3}{W_4}$ kennen.

Anwendung dieses Princips zur Bestimmung des Widerstandes thierischer Gewebe. Apparate. 3 Daniell'sche Elemente. Ein einfacher Rheochord. Siemens' Widerstandskasten. Galvanometer (Multiplicator oder Wiedemann's Bussole). Unpolarisirbare Elektroden (Zuleitungsgefässe von Du Bois-Reymond). Schlüssel.

Aufstellung (Fig. 79): Die beiden Enden des Rheochorddrahts c und d sind verknüpft:

1. durch eine Leitung, in die das Galvanometer g eingeschaltet ist;

2. gehen von ihnen aus zwei Leitungen, die in dem Punkte a zusammentreffen, die eine, a d, enthält den Widerstandskasten S. W.,

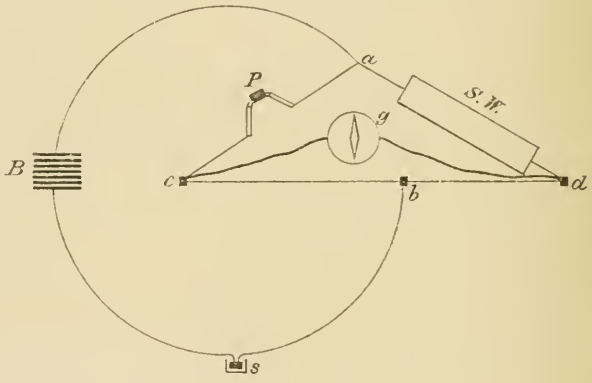


Fig. 79.

die andere die beiden Elektroden mit dem Stück thierischen Gewebes P, dessen Widerstand bestimmt werden soll. a ist in Verbindung mit dem einen Pol der Batterie B, der Schieber des Rheochords b mit dem anderen; in die letztere Leitung ist der Schlüssel eingeschaltet.

Das zu untersuchende thierische Gewebe (Nerv oder Muskel) wird so präparirt: Man füllt den Zwischenraum zwischen zwei quadratischen, durch Glasklötzchen in bestimmter Distanz von einander gehaltener Glasplatten mit parallel gelegten Froschsartorien oder -nerven. Alles was über den Rand hervorragt, wird dort glatt abgeschnitten. Hermann benutzte zur Untersuchung der Muskeln Glasplatten von 24,5 mm Quadratseite, für die der Nerven solche von 13,5 mm Seite, die durch kleine an den Ecken auf-

gestellte Glasklötze von genau 0,5 mm Dicke entfernt von einander gehalten werden. Die Platten werden gegen einander festgehalten durch Gummiringe, die man über sie zieht. Diese Muskel- und Nervenquadrate werden nun abwechselnd längs und quer zwischen die mit Kochsalzthon belegten Bäusche der Elektroden gebracht.

Wenn die Aufstellung fertig ist, schaltet man durch Ausziehen von Stöpseln einen bestimmten Widerstand in das Stück a d ein, schliesst für einen Augenblick den Strom und beobachtet während dessen die Nadel. Giebt sie einen Ausschlag, so schiebt man b auf dem Rheochord so lange hin und her, bis man eine Stellung findet, bei der das Galvanometer keinen Strom in c g d anzeigt. Dann ist der Widerstand in a c gleich dem bekannten in a d multiplicirt mit dem Verhältniss $\frac{c\,b}{b\,d}$. Letzteres kann leicht durch Messen der Entfernungen b c und b d bestimmt werden. Da der Widerstand von Muskel und Nerv sehr gross ist, muss man zur Messung auch den der Strecke a d gross machen, damit das Verhältniss $\frac{c\,b}{b\,d}$ nicht so gross wird, dass seine Bestimmung nicht mehr genau auszuführen ist (2000—3000 Siemenseinheiten). Die erhaltene Zahl giebt uns den ganzen Widerstand in der Strecke a c, auch den der Elektroden. Um den Widerstand von Nerv- und Muskelquadrat allein zu bekommen, macht man noch einen zweiten Versuch, in dem das Quadrat entfernt und die Elektroden mit den Theilen, die dem Quadrat anlagen, an einander gestellt werden. Man zieht den zuletzt erhaltenen Widerstand von dem ersten ab und erhält dadurch den für das Gewebsstück allein. Man berechnet schliesslich aus den erhaltenen Zahlen für Widerstand, Länge und Querschnitt, wie gross der Widerstand eines Stückes Nerven oder Muskelgewebes von 1 m Länge und 1 qmm Querschnitt sein wird.

Ist W der gefundene Widerstand, l die Länge in Meter, q der Querschnitt in Quadratmillimeter, so ist der Widerstand für 1 m Länge und 1 qmm Querschnitt

$$X = \frac{W.q}{l}.$$

Es ergiebt sich, dass der Widerstand in der Längsrichtung

etwa 2½ Millionen Mal so gross wie der des Quecksilbers ist, in der Querrichtung noch grösser, beim Nerv 5 Mal, beim Muskel 10 Mal so gross als in der Längsrichtung.

XVIII. Kapitel.

Doppelsinnige Leitung des Nerven.

Literatur bei Kühne in Zeitschrift f. Biologie, Bd. XXII.

Der Gracilis des Frosches wird von einer sehnigen, sämmtliche Muskelfasern unterbrechende Inscription (in Fig. 80 durch die Linie J angedeutet) in zwei Hälften geschieden, in eine etwas kürzere untere und in eine obere längere. Die Nervenvertheilung im Gracilis ist zu sehen an seiner Innenfläche, nachdem man den Muskel zusammen mit einem Stück seines Nerven vom Oberschenkel abpräparirt hat. Der Nerv N theilt sich gabelförmig in zwei Aeste, von denen der eine, K, zunächst immer eine Strecke weit ungetheilt verlaufend, zur kurzen Muskelhälfte abbiegt, der andere l nur ein sehr kurzes Stämmchen bildet, um sich alsbald in die lange Hälfte zu senken. H ist ein den Muskel perforirender Ast, der zur Haut geht.

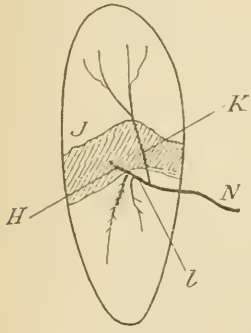


Fig. 80.

Man präparire den Muskel nun so, dass man das ganze schraffirte Stück aus ihm herausschneidet, ohne aber die Nerven zu verletzen; beide Hälften hängen nur noch durch die Nervengabel zusammen.

Von der Nervengabel hat Mays durch mikroskopische Untersuchung nachgewiesen, dass in ihr die Axencylinder der Nerven sich theilen. Von einem Axencylinder wird immer je ein Ast für den oberen und unteren Theil des Muskels abgegeben. Wenn man nun den einen Ast der Gabel reizt — am besten mechanisch durch einen Schnitt, mit dem man den einen Zweig durchtrennt —, so zuckt nicht nur der zugehörige Theil des Muskels, sondern auch der andere. Der Reiz geht also in dem gereizten Ast nicht nur abwärts, sondern auch aufwärts und dann in den anderen Ast abwärts.

Der Versuch misslingt, wenn man bei Freilegen der Gabel den Nerven schädigt. Man präparire diesen also sehr vorsichtig.

Eine andere Form des Versuchs ist folgende auch von Kühne (Arch. f. Anat. u. Physiol. 1859, S. 595) angegebene. Man spaltet den Froschsartorius von seinem breiten Ende aus in der Längsrichtung in ungefähr einem Drittel seiner ganzen Länge, wie das Fig. 81 zeigt. Reizt man nun den rechten Zipfel durch Schnitt in der Gegend von a bis a_1, so zuckt nur die rechte Hälfte des Muskels, reizt man aber bei b bis b_1, so zuckt die andere mit. Das beruht darauf, dass bei b bis b_1 Nervenfasern endigen, die aus einem Axencylinder kommen, der sich, ähnlich wie beim Semimembranosus, gabelförmig theilt und dessen beide Zweige die beiden Zipfel des Muskels innerviren. Die Erregung bei b bis b_1 bewirkt also Reizung von Nervenfasern, die den Reiz erst centripetal bis zur Gabelung und dann centrifugal in den linken Zipfel hineinleiten. Reizung bei a bis a_1 hat nicht diesen Effect, weil hier keine Nervenfasern endigen.

Fig. 81.

Da es nicht immer gelingt, den Schnitt so zu führen, dass beide Zipfel von den Zweigen einer Faser innervirt werden, so gelingt der Versuch freilich nicht immer.

XIX. Kapitel.

Ueber die Beziehung von Leitungsfähigkeit zur Erregbarkeit des Nerven.

Anordnung des Versuchs. Der Nerv eines Nervmuskelpräparats wird durch eine Glasröhre hindurchgezogen, so dass er mit seinem freien Ende noch aus der einen Oeffnung der Röhre hervorragt. Die Oeffnungen der Glasröhre werden nun mit Kochsalzthon so luftdicht verschlossen, dass der Nerv nicht gequetscht wird. Die Glasröhre hat seitlich zwei Ansätze mit Oeffnungen a und b (Fig. 82), an die Gummischläuche angesteckt werden können. In einen dritten seitlichen Ansatz sind ein Paar Platinelektroden in die Röhre eingesteckt und luftdicht eingekittet; auf diesen

Elektroden liegt der Nerv auf. Ein anderes Paar Elektroden liegt der Stelle des Nerven auf, die aus der Oeffnung der Glasröhre frei herausragt. Der Muskel ist verknüpft mit einem Längenzeichner, der seine Hubhöhe auf eine feststehende Schreibfläche aufzeichnet.

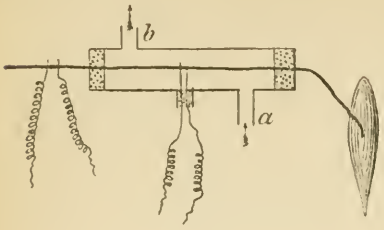


Fig. 82.

Die Gummischläuche dienen zum Durchleiten von gewissen Gasen durch die Glasröhre, die auf den Nerven wirken sollen. Wir leiten Kohlensäure und Alkoholdämpfe durch. Die Kohlensäure wird erzeugt durch Aufgiessen von verdünnter Salzsäure auf kohlensauren Kalk, am besten mit einem Kipp'schen Apparat (s. darüber die Lehrbücher der Chemie). Wenn man keinen Kipp'schen Apparat zur Verfügung hat, kann man sich dadurch helfen, dass man die Kalkstücke in eine Flasche füllt, nun die Säure eingiesst und schnell die Flasche mit einem Korken fest verschliesst, der eine Durchbohrung mit Glasrohr trägt, auf das der Gummischlauch zur Verbindung mit der Oeffnung a aufgesteckt ist. Den Versuch stellt man so an: Man bestimmt durch Reizung mit tetanisirenden Inductionsströmen diejenigen Rollenabstände, bei denen gerade Erregung des Präparats bei Reizung der oberen und unteren Stelle des Nerven erfolgt. Nun leitet man die Kohlensäure durch und findet danach, dass zur Reizung der unteren Stelle (in der Glasröhre) nun stärkere Reize nöthig sind, als vorher, dass dagegen die obere Stelle noch mit derselben Reizstärke erregt werden kann wie vorher. Schliesslich reagirt die untere Stelle auch bei stärksten Reizen nicht mehr, während die obere noch erregbar ist. Also leitet die von der Kohlensäure beeinflusste Strecke noch den Reiz, ist aber selbst nicht mehr erregbar.

Bei einem anderen Versuche leitet man Alkoholdämpfe hindurch. Man verbindet den zuleitenden Gummischlauch mit einem Kochfläschchen, das zur Hälfte mit etwas verdünntem Alkohol gefüllt ist und mit einem doppelt durchbohrten Pfropfen verschlossen ist. In den Bohrungen stecken zwei Glasröhrchen, ein kurzes und ein langes, letzteres ragt mit seinem unteren Ende bis in den Alkohol hinein. Der Gummischlauch ist mit dem kurzen Röhrchen verbunden. An dem anderen Ende b der Gaskammer saugt man mit Hilfe einer Wasserstrahlpumpe, die damit durch ein Gummirohr verbunden

ist. Es wird in Folge dessen Luft durch die Gaskammer getrieben, die erst durch den Alkohol gegangen ist. So wird bewirkt, dass Alkoholdämpfe durch das Glasrohr streichen. Hier kann man nun feststellen, dass die Reizung an der oberen Stelle schneller unwirksam wird, als die der unteren. Hier ist also die Leitungsfähigkeit gesunken, die Erregbarkeit gegen elektrischen Reiz nicht.

Man gründet auf diese Versuche die Auffassung, dass die Leitungsfähigkeit und Erregbarkeit nicht auf ein und derselben Eigenschaft des Nerven beruhen.

Ueber die Deutung dieser Thatsache siehe Gad, Du Bois-Reymond's Archiv 1888, S. 395 und 1889, S. 350. Dort findet sich auch weitere Literatur angegeben.

XX. Kapitel.

Wärmebildung des thätigen Muskels.

Es wird bei einem enthäuteten Froschschenkel das Quecksilbergefäss eines feinen Thermometers zwischen die beiden Oberschenkel gelegt, die Oberschenkel an einander gedrückt und mit Watte oder Flanell umwickelt. Dem Ischiadicus oder den Muskeln direct werden die Drähte des secundären Kreises angelegt.

Man wartet nun ab, bis der Thermometerstand sich nicht mehr ändert und tetanisirt dann die Oberschenkelmuskeln durch einige Minuten hindurch, man nimmt an dem Steigen des Quecksilberniveaus die Erwärmung der Muskeln wahr.

Das Thermometer muss zu diesem Versuche mindestens Zehntelgrad anzeigen.

In derselben Weise ist die Wärmebildung bei willkürlich thätigen menschlichen Muskeln nachzuweisen. Das Quecksilbergefäss wird der Haut über dem Biceps brachii angelegt und mit Watte festgewickelt. Dann contrahirt man den Biceps — Hebung eines in der Hand gehaltenen Gewichts durch Beugen des Ellenbogens —, man nimmt nach einiger Zeit das Steigen des Quecksilberniveaus wahr.

Die Methode zur genaueren Untersuchung der Wärmebildung des ausgeschnittenen thätigen Froschmuskels, insbesondere auch bei Einzelzuckung,

beruht auf thermo-elektrischen Messungen. Es wird eine Thermosäule von mehreren nadelförmigen Elementen, etwa zehn, dem Muskel so angelegt, oder noch besser in die Muskelmassen des Präparats von Doppelsemimembranosus und -gracilis — kurze Anordnung — so eingeschoben, dass die eine Reihe der Löthstellen dem Muskel anliegt, die andere frei in der umgebenden Luft schwebt. Die Thermosäule ist in Verbindung mit einem Galvanometer, das die nach Erwärmen der Muskelmassen und damit der einen Löthstellenreihe entstehenden schwachen Ströme nachweist. Genaueres über die Methode findet sich in:

Heidenhain, Mechanische Leistung, Wärmeentwickelung und Stoffumsatz bei der Muskelthätigkeit. Leipzig 1864.
Fick, A., Myothermische Untersuchungen. Wiesbaden 1889.

XXI. Kapitel.

Flimmerbewegung.

1. **Mikroskopische Beobachtung.** Man schneidet ein Stück der Schleimhaut des harten Gaumens, Rachens oder Oesophagus des Frosches heraus und faltet sie in solcher Weise, dass die zellentragende Fläche den freien Rand der Falte bildet und legt die Haut auf einen Objectträger. Man setzt nun eine möglichst indifferente Flüssigkeit zu: 0,7 % NaCl oder Blutserum. Das Deckgläschen muss so aufgelegt werden, dass es den freien Rand der Falte nicht quetscht; um das sicher zu vermeiden, stützt man den über die Falte überragenden Rand des Deckglases durch ein untergelegtes etwas dickeres Deckgläschen, oder man bringt das Präparat in eine der bei mikroskopischen Untersuchungen gebräuchlichen feuchten Kammern (siehe darüber die Lehrbücher der mikroskopischen Technik). Man betrachtet das Object bei verschiedenen Vergrösserungen. Man sieht nun bei nicht zu starker Vergrösserung die Haare in lebhafter Bewegung, ähnlich einem im Winde hin- und herwogenden Kornfeld. Alle Haare führen regelmässige periodische und rhythmische hin- und herschwingende Bewegungen aus in Ebenen, die im Allgemeinen senkrecht auf der Oberfläche der Zellen stehen. Die Bewegungsrichtungen benachbarter Flimmerhaare sind parallel und constant. Jede ganze Schwingung setzt sich aus einer langsamen Rückwärtskrümmung und einer schnellen Vorwärtsbeugung zusammen.

2. **Wirkung der Flimmerbewegung.** Man präparire die hintere Rachenschleimhaut des Frosches zusammen mit der Rückwand der

Speiseröhre ganz aus dem Körper heraus, spanne sie, ohne sie zu zerren, mit der Schleimhautfläche nach oben auf ein Korkplättchen aus und stecke sie mit Nadeln fest. Die Schleimhaut ist mit physiologischer Kochsalzlösung feucht zu halten.

Nun lege man irgend einen kleinen Gegenstand, am besten ein Stückchen Froschleber, auf das Kopfende der Schleimhaut auf und beobachte dasselbe: man nimmt wahr, dass es sich in der Richtung nach dem Magen hin fortbewegt.

Man kann auch umgekehrt ein Stück Gaumenschleimhaut mit der Schleimhautfläche nach unten auf eine Glasplatte auflegen und beobachtet nun, dass das Stück auf der Glasplatte hinkriecht in der Richtung, nach der das Kopfende des Schleimhautstückes sieht.

3. **Kraft und Arbeitsleistung der Flimmerbewegung.** Man stellt die wie eben präparirte Schleimhaut auf der Korkplatte schief, mit einer Neigung von etwa 1 : 10, so dass das Kopfende am tiefsten steht, und lässt von da aus Gewichte sich nach oben bewegen.

Die Gewichte müssen so beschaffen sein, dass man die Grösse der Fläche, mit der sie der Schleimhaut aufliegen, leicht ausmessen kann. Am bequemsten ist es, prismatische Gewichte zu nehmen, deren Grundfläche ein Quadrat oder ein Rechteck ist. Man bestimmt nun jedesmal:

1. die Grösse der berührten Schleimhautfläche;
2. die Grösse des gehobenen Gewichts;
3. die Höhe der Erhebung;
4. die Zeit, welche vergeht, bis das Gewicht vom tiefsten bis zum höchsten Punkt gehoben ist.

Diese Messung geschieht nach dem Gange einer Taschenuhr oder eines Metronoms. Aus der zweiten und dritten berechnet man die geleistete Arbeit in Grammmillimetern.

Um die verschiedenen Resultate unter einander vergleichbar zu machen, rechnet man nun die Arbeitsleistung mit Hilfe der unter 1 und 4 erhaltenen Zahlen so um, dass sie für 1 qcm Schleimhautfläche und 1 Minute angegeben wird.

Siehe darüber:
Bowditch, Force of ciliary motion. Boston medic. and surgic. Journ. 1876.

Zur Registrirung der Geschwindigkeit der Bewegung sind auch Apparate von Engelmann angegeben, die „Flimmeruhr“ und die „Flimmermühle“. In diesen Apparaten giebt eine von den Cilien in Umdrehung versetzte Axe mittels eines an ihr befestigten Zeigers (Flimmeruhr) oder Zahnrads (Flimmermühle) in regelmässigen Winkelabständen Gelegenheit zum Ueberspringen elektrischer Funken von einer Metallspitze auf einen mit berusstem Papier bekleideten rotirenden Cylinder. Aus den Abständen der von den Funken gesetzten Marken und der bekannten Rotationsgeschwindigkeit des Cylinders ergiebt sich die Winkelgeschwindigkeit der Axe, die als Mass für die Energie der Strömung zu betrachten ist. Näheres darüber siehe:

Engelmann, Th. W., Flimmeruhr und Flimmermühle. Archiv f. d. ges. Physiol. von Pflüger, Bd. XV, S. 493. 1877.

II. Abschnitt.

Physiologie des Nervensystems und der Sinne.

XXII. Kapitel.

Exstirpation des Vorderhirns beim Frosche.

1. **Anatomische Vorbemerkung.** Der Bau des **Schädels** ergiebt sich aus Fig. 83 und 84, die das Kopfskelet zeigen.

Der eigentliche Schädel bildet eine hinten breitere, vorn schmälere prismatische Röhre, deren knorpelige Grundlage noch zu

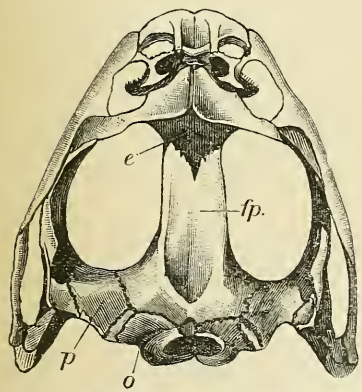


Fig. 83 (nach Ecker).

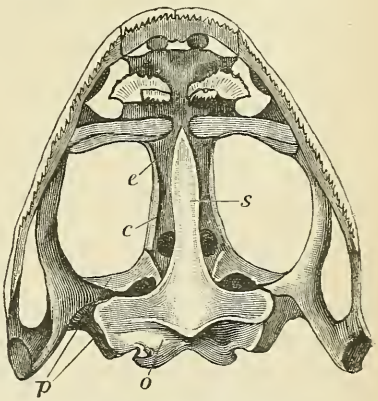


Fig. 84 (nach Ecker).

e: os ethmoideum. fp: os frontoparietale. p: os petrosum. s: os sphenoideum. o: os occipitolaterale. c: Knorpelige Seitenwand des Schädels.

einem grossen Theile vorhanden ist. Besonders die Seitenwand ist zum grösseren Theil nur von Knorpel gebildet. Dieser Knorpel c (Fig. 84) füllt den Raum zwischen dem Stirnscheitelbein f p oben

dem Keilbein s unten, dem Felsenbein p hinten und dem Siebbein e vorne aus.

Gehirn, besteht aus drei Abschnitten (Fig. 85).

1. Der hinterste M, eine Anschwellung des vorderen Endes des Rückenmarks darstellend, entspricht der Medulla oblongata, Brücke und dem Kleinhirn mit der Rautengrube. Das Kleinhirn besteht hier in einem Wulst W, der die Rautengrube vorne begrenzt.

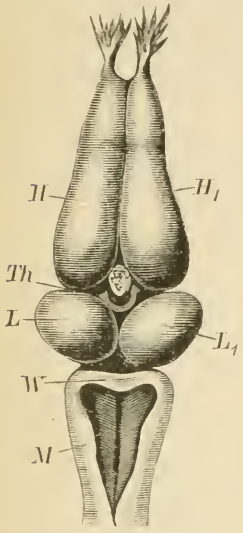


Fig. 85 (nach Ecker).

2. Die Lobi optici L und L_1 entsprechen dem Mittelhirn, von oben gesehen zwei grosse rundliche Körper, deren Längsaxen unter einem nach vorn weit offenen Winkel schräg zur Medianebene gerichtet sind; stellen den breitesten Abschnitt des Gehirns dar.

3. Weiter nach vorne das Zwischenhirn (Thalamus opticus, Th) mit den nach vorne sich daran anschliessenden Hemisphären H und H_1. Die Hemisphären verlängern sich nach vorne strangartig in die Riechlappen und -nerven.

Zur Orientirung über die Topographie dieser Theile sei bemerkt: eine Linie, die durch die beiden hinteren Ecken der Lidspalte gezogen ist, trifft die Vorderhirnhemisphären. Eine Linie, die die vorderen Grenzen der beim Frosch aussen sichtbaren Trommelfelle verbindet, fällt etwas vor die Grenze zwischen Vorder- und Mittelhirn. Eine Linie, die die hinteren Grenzen der beiden Trommelfelle verbindet, fällt etwas hinter die Grenze zwischen Hinter- und Mittelhirn.

Ehe man die nun zu beschreibenden Versuche anstellt, orientire man sich durch anatomische Präparationen genau über die Lage des Schädels und Gehirns zu einander.

2. **Exstirpation des Vorderhirns.** Man schneidet die Haut des Kopfes in der Medianlinie ein und sieht darauf das obere Schädeldach frei liegen. Man schneidet nun das Schädeldach mit einer kleinen Knochenzange an und trägt es so weit ab, dass man das Vorderhirn frei liegen sieht. Nun wird das Vorderhirn vom Mittelhirn durch einen Schnitt abgetrennt, mit Pincette gefasst und ganz aus der Schädelhöhle herauspräparirt.

Bei der Operation ist Blutung möglichst zu vermeiden. Wenn man Gefässe angeschnitten hat, so tupft man das Blut mit etwas Watte ab. Am Schlusse der Operation stopft man die Wundhöhle auch etwas mit Watte aus, um weitere Blutung zu verhindern.

Statt die Schädelhöhle mit einer Knochenscheere aufzuschneiden, kann man sie auch zweckmässig mit einer sogenannten Trephine eröffnen, d. i. ein kleiner, mit der Hand zu führender Kreisbohrer. Die Grösse des Bohrers und also auch des gebohrten Loches richtet sich nach der Grösse des Frosches. Man setzt den Dorn im Mittelpunkt des kreisförmigen Bohrers ein in die Medianlinie etwa zwischen beiden Trommelfellen und bohrt nun vorsichtig durch Hin- und Herdrehen der Trephine mit der Hand das Loch in den Schädel. Man vermeide starkes Drücken auf die Trephine, da man sie sonst leicht in die Schädelhöhle eindrückt und das Gehirn zerquetscht. Hat man in den Knochen so ein kreisförmiges Loch gebohrt, so nimmt man das ausgesägte Knochenstück mit einer Pincette heraus und sieht dann die Gegend des Mittelhirns durch das Loch. Man erweitert nun das Loch nach vorne zu mit einer Knochenscheere und verfährt dann weiter, wie oben beschrieben.

Man kann das Vorderhirn auch ohne vorherige Eröffnung der Schädelhöhle mit Knochenscheere oder Trephine vom Mittelhirn abtrennen dadurch, dass man durch Haut und Knochen ein scharfes Messer in der Mitte der Linie, die die vorderen Ränder der Trommelfelle verbindet, einsticht bis zur Basis und das Hirn nach beiden Seiten durchschneidet.

3. **Beobachtung des Frosches ohne Vorderhirn.** Etwa eine Stunde später beobachtet man: Der Frosch ohne Vorderhirn hält sich genau so wie ein normaler, nur führt er keine spontanen Bewegungen aus. Legt man ihn auf den Rücken, so wendet er sich wieder um, setzt man ihn auf die Hand und dreht die Hand um, so klettert er, sobald er auszurutschen droht, an der Seite nach der nun wieder zu oberst kommenden Seite herauf. Er nimmt von selbst keine Nahrung zu sich; will man ihn am Leben erhalten, so muss man ihn künstlich füttern mit Insekten, Stücken von Regenwürmern oder Froschfleisch, die man ihm in die Speiseröhre stopft. Exstirpirt man nicht das ganze Vorderhirn, sondern nur die Hemisphären, ohne Thalami optici, so kann man unter Umständen noch spontane Bewegungen und selbständige Nahrungsaufnahme

feststellen (s. Schrader, Pflüger's Archiv f. d. ges. Physiol., Bd. 41, S. 75). Leichtes Streifen der Rückenhaut des Frosches ohne Vorderhirn mit dem nassen Finger bewirkt, dass der Frosch quakt: **Goltz'scher Quakversuch.**

XXIII. Kapitel.

Zerstörung des ganzen Gehirns. Rückenmarksfunctionen.

1. **Operation.** Man trennt das Rückenmark vom Gehirn durch einen Schnitt unterhalb der Medulla oblongata, d. i. zwischen dem Schädel und dem ersten Wirbel. Der Schnitt kann mit einer Scheere oder mit einem Messer ausgeführt werden. Darauf steckt man in die Schädelhöhle eine Stricknadel ein und zerstört damit das Gehirn. Um Blutung möglichst zu vermeiden, kann man die Durchtrennung und Zerstörung des Gehirns auch vornehmen mit einer über einer Flamme glühend gemachten Stricknadel oder man drückt nach der Abtrennung des Rückenmarks ein Holzstäbchen von passender Grösse in die Schädelhöhle hinein, das man liegen lässt. Falls es nicht so sehr darauf ankommt, Blutungen zu vermeiden und den Kopf zu erhalten, schneidet man den ganzen Kopf mit Scheerenschnitt vom Rumpf ab.

Der **hirnlose Frosch** zeigt etwa eine halbe Stunde nach der Operation ausser dem Fehlen der willkürlichen Bewegungen noch Folgendes:

Der Kopf wird nach unten gehalten, die Augen sind geschlossen, die Athembewegungen der Nase und Kehle fehlen. Legt man den Frosch auf den Rücken, so bleibt er liegen.

Der enthirnte Frosch eignet sich nun besonders gut zum Studium einiger

2. **Functionen des Rückenmarks.** Nachdem das Gehirn in eben beschriebener Weise zerstört ist, lege man den Frosch auf eine Glasplatte und strecke seine Beine aus.

Kneift man nun die Haut an irgend einer Stelle mit einer Pincette, so führt er Bewegungen aus. Die Form der Bewegungen

ist verschieden je nach der Hautstelle, die man reizt, sie haben aber alle den Charakter des Zweckmässigen, es sind Flucht- oder Abwehrbewegungen. Das Thier scheint vor dem kneifenden Instrument zu fliehen oder sich zu bestreben, es von der gekniffenen Stelle abzustossen.

Man bereite sich eine Anzahl kleiner Quadrate von Fliesspapier (3 qmm gross), giesse in ein Uhrschälchen etwas auf das fünffache mit Wasser verdünnte Essigsäure und halte ein Becherglas mit Wasser bereit, in das man den Frosch ganz eintauchen kann.

Nun wird der enthirnte Frosch an einem Stativ aufgehangen mittels eines Hakens, der unter dem Unterkiefer eingestochen ist. Die Beine hängen schlaff herab. Nun taucht man ein Papierschnitzel in die Essigsäure und legt es dann einer Hautstelle auf. Sofort vollführt der Frosch eine Bewegung, die offenbar bezweckt, das reizende Papierstück abzuwischen. Sobald die Bewegung erfolgt ist, taucht man den Frosch in das Wasser, um die Essigsäure von der gereizten Stelle abzuwaschen, damit die Stelle nicht durch Aetzen zerstört wird. Legt man das Papierstück an der Innenseite des Oberschenkels oben auf, so erfolgt die Wischbewegung mit dem Schenkel der gleichen Seite. Nun schneide man den Unterschenkel dieser Seite ab und reize nach einer Pause von einigen Minuten von Neuem. Der Frosch versucht mit dem Stumpf die Bewegung auszuführen, da er aber damit seinen Zweck nicht erreichen kann, so nimmt er nach mehrmaligen vergeblichen Versuchen den anderen Schenkel. Die Ausführung der Abwehrbewegung erfolgt also in einer Weise, die — bei objectiver Betrachtung — von der bewussten Willensäusserung sich qualitativ nicht unterscheidet.

Man bereite sich verschiedene Lösungen von Schwefelsäure, von denen eine 1 ccm, eine andere 2, eine dritte 3, eine vierte 4 ccm concentrirte Schwefelsäure in 1 l Wasser enthält. Von jeder giesse man etwas in ein kleines Becherglas. Auch hier halte man das Becherglas mit Wasser bereit. Man stelle neben das Stativ ein Metronom auf, das man Hundertstel-Minuten schlagen lässt. Nun hebe man das Glas mit 0,1procentiger Schwefelsäure so empor, dass der Fuss in der Schwefelsäure steckt, und zähle die Schläge bis zum Beginn der Bewegung, die in Form eines Anziehens des Oberschenkels gegen den Körper erfolgt. Man notirt die Zahl der Metronomschläge. So stellt man mehrere Versuche

an und berechnet das Mittel der erhaltenen Zeit. Die Zeit, die vergeht vom Beginn der Reizung bis zum Erfolg, ist die sogenannte Reflexzeit. Nachdem man den gereizten Schenkel gewaschen hat, wartet man fünf Minuten und macht dann einen zweiten Versuch mit einer anderen Schwefelsäure, etwa der 0,2procentigen u. s. f. Man nimmt wahr, dass die Reflexzeit kürzer wird bei Anwendung der concentrirten Säuren.

Man stelle einen Inductionsapparat zur Reizung mit einzelnen Oeffnungsinductionsströmen her. In die secundäre Leitung Du Bois' Schlüssel als Nebenleitung zur Abblendung der Schliessungsschläge. Die Drahtenden der secundären Leitungen führen zu zwei einfachen Reizelektroden, die man einer Stelle der Haut des Fusses eines hirnlosen Frosches anlegt. Nun reizt man mit verschiedenen Stromstärken — man erhält nie die Reflexbewegungen. Man lässt die Reizelektroden an derselben Stelle liegen und ändert nun die Anordnung so um, dass der Wagner'sche Hammer in den primären Kreis eingeschaltet ist. Reizt man jetzt (durch Oeffnen des Du Bois-schen Schlüssels in der secundären Leitung), so erhält man schon bei geringer Reizstärke Reflexbewegungen. Ein einzelner starker Reiz bringt also nicht so leicht Reflexbewegungen hervor, als mehrere auf einander folgende schwache.

Man lege auf einer Seite bei dem hirnlosen Frosch den Ischiadicus frei, ohne ihn zu verletzen. Reizt man nun die Haut des Frosches dieser Seite mit tetanisirenden Inductionsströmen, so erfolgt wie in dem eben beschriebenen Versuche Reflexbewegung. Legt man nun aber die Elektroden direct dem Ischiadicus an, so bleiben die Bewegungen wieder aus. Letzteres wird durch die Annahme erklärt, dass im Ischiadicus neben den reflexerregenden noch besondere reflexhemmende Nervenfasern verlaufen, deren Erregung bei directer Reizung der Nerven über die ersteren überwiegt. Sehr starke Reizung der Haut bewirkt auch Erregung der reflexhemmenden Fasern.

Letzteres kann man noch in folgendem Versuche beobachten: Es ist sehr leicht, die Nerven, die die Rückenhaut des Frosches innerviren, zu isoliren: sie liegen frei im Lymphraum unter der Rückenhaut. Man isolire eine solche Nervenfaser mit einem daran hängenden kleinen Hautläppchen. Tetanisirt man die Fasern direct, so erhält man die Reflexe nicht, betupft man das Hautläppchen mit verdünnter Essigsäure, so erfolgen Bewegungen. Aetzt man die Haut mit concentrirter Schwefelsäure an, übt man also einen

sehr starken Reiz auf die Haut aus, so bleiben die Bewegungen wieder aus.

Der Goltz'sche Quakversuch gelingt beim hirnlosen Frosch nicht mehr. Nach Zerstörung des Rückenmarks bleiben alle diese Erscheinungen aus.

Vergiftung mit Strychnin. Es werden einem hirnlosen Frosche, der noch nicht verblutet ist, dessen Circulation noch erhalten sein muss, einige Tropfen einer 0,1 procentigen Lösung von Strychnin injicirt in einer der früher beschriebenen Weisen. Man setzt den Frosch unter eine Glasglocke und wartet dann zu, bis die Giftwirkung eintritt. Oder man injicirt das Gift bei einem unversehrten Frosch und zerstört dessen Gehirn, sobald die Wirkung des Giftes sich zu äussern beginnt. Diese Wirkung äussert sich so, dass nun auf sensible Reize, und zwar schon auf die leiseste Berührung, nicht mehr die zweckmässigen Abwehr- und Fluchtbewegungen erfolgen, sondern Krämpfe der ganzen Körpermuskulatur; besonders auffallend sind die Streckkrämpfe der unteren Extremitäten. Nach Zerstörung des Rückenmarks hören die Krämpfe auf.

Die hier beschriebenen Erscheinungen werden meist als Reflexe bezeichnet. Reflex ist die Uebertragung eines Reizes von einem centripetalen Nerven auf einen centrifugalen durch das Centralnervensystem hindurch, die ohne Betheiligung des Willens, ja sogar gegen den Willen zu Stande kommt. Man unterscheidet die ausgebreiteten ungeordneten Reflexe oder Reflexkrämpfe, die sich z. B. bei Strychninvergiftung zeigen, von den ausgebreiteten geordneten Reflexen. Mit letzterem Namen pflegen viele die zweckmässigen Abwehr- und Fluchtbewegungen zu bezeichnen, die wir auch studirt haben. Indessen fragt sich, ob man letztere den Reflexbewegungen zurechnen darf. Da sie — für die objective Beobachtung — sich nicht unterscheiden von den bewussten Willensäusserungen, so werden sie auch auf sensorische Functionen des Rückenmarks zurückgeführt.

Zur Orientirung über diesen Gegenstand lese man:
Pflüger, E., Die sensorischen Functionen des Rückenmarks etc. Berlin 1853.

Den ausgebreiteten Reflexen, bei denen grössere Muskelgruppen oder gar die ganze Körpermuskulatur in Action treten, stellt man gegenüber die sogenannten einfachen Reflexe, bei denen

nur ein einzelner Muskel oder eine kleine Gruppe bewegt wird. Beispiel eines solchen ist das

Kniephänomen. Man setze sich auf einen Stuhl und kreuze das rechte Bein über das linke, lasse den rechten Unterschenkel schlaff herabsinken. Nun schlage man mit der Kante eines Lineals gegen das rechte Ligamentum patellae, dann erfolgt eine Erhebung des Unterschenkels durch reflectorische Contraction des Quadriceps femoris.

Von Sommer ist ein Apparat angegeben zur graphischen Registrirung des Kniephänomens, der sogenannte Reflexmultiplicator (Deutsche medicinische Wochenschrift 1894, Nr. 45). Der Oberschenkel ruht auf gepolstertem Bogen, am Unterschenkel befestigt ist eine Schnur, die über eine Rolle geht und auf der anderen Seite ein dem Unterschenkel das Gleichgewicht haltendes Gewicht trägt. Mit der Schnur verbunden ist ein Zeichenhebel, der die Bewegung der Schnur auf eine rotirende Trommel aufzeichnet. Zum Apparat gehört ferner noch eine Vorrichtung zur Auslösung des Reizes mit Messung des mechanischen Momentes.

Die Aequilibrirung hat den Vortheil, dass schon minimale Bewegungen des Unterschenkels sichtbar werden, die ohne Aequilibrirung des Unterschenkels sozusagen von der Schwere desselben unterdrückt würden. Die erhaltene Curve ist natürlich nicht der getreue Ausdruck der Muskelcontraction, sondern giebt die Trägheitsbewegungen des Unterschenkels und äquilibrirenden Gewichts wieder. Doch ergiebt sich aus den Verschiedenheiten der Curven unter verschiedenen Versuchsbedingungen, dass sich der Apparat recht gut zum Studium gewisser Einflüsse auf den Reflexvorgang und zu pathologischen Untersuchungen eignet.

4. **Reflexhemmung.** Man legt bei einem Frosche durch Abtragung des Schädeldaches das Gehirn von oben frei — etwaige Blutung schadet hier nichts —, legt einen Querschnitt an durch die Linie, die in der nebenstehenden schematischen Fig. 86 mit 1 bezeichnet ist, so dass der grösste Theil der Grosshirnhemisphären abgetrennt ist. Der Frosch lässt die Beine herunterhängen. Man bestimmt die Reflexzeit mit verdünnter Schwefelsäure und wäscht danach die Haut in vorhin beschriebener Weise. Dann führt man einen Schnitt in der Linie 2, reizt mit derselben Schwefelsäure in derselben Weise und bestimmt die Reflexzeit, wäscht danach wieder, dann verfährt man ebenso nach Durchschneidung in den Linien 3, 4 und 5. Es ergiebt sich, dass die Reflexzeit grösser ist bei 2 und 3, als bei 1, 4 und 5. Tritt das Phänomen nicht bei Schnitt allein deutlich auf, so kann man es erhalten, wenn man die Schnittstelle bei 2 und 3 durch einen aufgelegten Kochsalzkristall reizt.

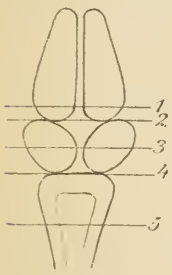


Fig. 86.

Man nimmt an, dass diese Erscheinung zu Stande kommt durch Reizung besonderer reflexhemmender Centren, die in dem Thalamus und den Lobis opticis sitzen. Die Reizung erfolgt durch den Schnitt oder durch den aufgelegten Kochsalzkristall.

XXIV. Kapitel.

Function der vorderen und hinteren Wurzeln.

Bei einem Frosche, der in Bauchlage auf dem Froschbrett festgebunden oder zum Festhalten in ein Tuch eingewickelt ist, macht man einen Längsschnitt in der Medianlinie der Rückenhaut vom 4. Wirbel bis über das Steissbein. Man führt den Schnitt durch bis auf die Dornfortsätze und schält nun, am besten mit einem stumpfen Instrument, rechts und links von der Medianlinie die Muskeln von der Wirbelsäule ab, so dass die Wirbelbögen frei liegen. Mit einer kurzen Scheere schneidet man nun die Wirbelbögen des 8. bis 5. Wirbels auf beiden Seiten durch, indem man die Scheerenblätter von aussen nach innen den Bögen anlegt. Mit einer Pincette hebt man die abgeschnittenen Bögen ab. Nun durchschneidet man noch die Hüllen des Marks und der Wurzeln mit einer Scheere, aber vorsichtig, dass die Nerven nicht verletzt werden. Etwaige Blutungen stillt man, indem man mit Watte abtupft. Nun liegen die 7. bis 10. Wurzeln beiderseits frei. Die hinteren bedecken die vorderen.

Man führt unter einer hinteren Wurzel einen Faden durch und knotet ihn über der Wurzel zu, so dass die Wurzel angeschlungen ist, dann durchschneidet man die Wurzel oberhalb der abgebundenen Stelle, zieht die Wurzel an dem Faden empor und reizt den peripheren Stumpf durch Quetschen oder Zerren oder mit tetanisirenden Inductionsströmen: es erfolgt nichts. Bei einer anderen hinteren Wurzel durchschneidet man unter der abgebundenen Stelle und reizt den am Faden emporgezogenen centralen Stumpf. Es erfolgen danach Bewegungen des ganzen Körpers, die als reflectorische oder Abwehrbewegungen aufzufassen sind.

Dasselbe Experiment macht man mit zwei vorderen Wurzeln. Hier ergiebt sich, dass schon bei dem Abbinden die Muskeln des zugehörigen Schenkels zucken, denn das Abbinden wirkt als mechanischer Reiz. Man erhält ferner Muskelcontractionen in dem gleich-

seitigen Schenkel bei Reizung des peripheren Stumpfes, aber nichts bei Reizung des centralen Stumpfes.

Man kann sämmtliche vier hinteren Wurzeln auf der einen Seite durchschneiden, sämmtliche vorderen auf der anderen, und kann dann Folgendes beobachten: Betupft man die Haut des Schenkels der Seite, auf der die hinteren Wurzeln durchschnitten sind, mit Säure, so erhält man keinerlei reflectorische oder Abwehrbewegungen: betupft man die andere Seite, so erhält man Bewegungen aller Muskeln des Körpers, mit Ausnahme der des Schenkels der Seite, auf der die vorderen Wurzeln durchschnitten sind.

XXV. Kapitel.

Bestimmung der Reactionszeit.

Die Reactionszeit ist die Zeit, die vergeht zwischen einem Sinneseindruck und einer möglichst schnell darauf folgenden bewussten und beabsichtigten Reaction. Man misst die Reactionszeit, indem man einer Versuchsperson aufgiebt, sofort, nachdem sie einen bestimmten Reiz empfunden hat, eine bestimmte Bewegung auszuführen, und nun die Zeit bestimmt, die zwischen dem Reizmoment und dem Beginn der Reaction vergeht. Die Bestimmung der Reactionszeit kann nach zwei Methoden geschehen:

1. Mit Hilfe der graphischen Methode.
2. Mit Hilfe eines eigens zur Messung kleiner Zeiträume construirten Uhrwerks.

1. Bestimmung der Reactionszeit mittels der graphischen Methode.

Es sind dazu erforderlich drei Apparate:

a) Schreibfläche, die sich mit bekannter oder durch Zeitschreiber (Stimmgabel, S. 74) zu bestimmender Geschwindigkeit bewegt.

b) Eine Vorrichtung, durch die der Zeitpunkt, in dem die Reizung erfolgt, auf der Schreibfläche aufgezeichnet wird.

c) Eine Vorrichtung, durch die der Zeitpunkt des Beginns

der darauf folgenden Reaction auf der Schreibfläche aufgezeichnet wird.

ad a) Die Geschwindigkeit der Schreibfläche muss so bemessen sein, dass sich $\frac{1}{100}$ Secunden noch genau messen, $\frac{1}{1000}$ wenigstens noch schätzen lassen. Geeignet zu dem Versuch sind daher Cylinder-, Pendel- oder Federmyographion oder auch die Trommel des Baltzar'schen Kymographions, wenn man sie auf den schnellsten möglichen Gang einstellt; man bindet dazu die Windflügel des Foucault'schen Regulators fest und erhält so eine Geschwindigkeit von 1,6 mm in 0,01″.

Wenn man die Geschwindigkeit der Schreibfläche nicht kennt, lässt man die Stimmgabel ihre Schwingungen mit aufzeichnen.

ad b) Es wird ein elektrischer Stromkreis geöffnet und dadurch ein Sinnesreiz gesetzt. Der Zeitpunkt der Oeffnung wird durch einen elektrischen Signalschreiber (siehe S. 75), der in den Strom eingeschaltet ist, auf die Trommel aufgeschrieben. Bei geschlossenem Strom ist der Anker durch den Elektromagneten angezogen. Wird der Strom geöffnet, so wird der Anker durch die Feder vom Elektromagneten abgerissen und die mit dem Anker verbundene Zeichenfeder verändert in Folge dessen ihre Stellung und zeichnet die Stellungsänderung auf. Bis zur Oeffnung des Stromes zeichnet die Feder eine horizontale gerade Linie. Wenn die Oeffnung erfolgt ist, hebt sich der Zeichner von dieser geraden Linie ab. Durch den Beginn der Bewegung des Zeichners ist der Zeitpunkt der Oeffnung markirt.

Die Art, wie gleichzeitig mit der Oeffnung des Stromes die Erregung des Sinnesorgans erfolgt, ist für die verschiedenen Sinne verschieden, z. B.:

1. Für Tastempfindung: Man schaltet in den Stromkreis noch die primäre Spirale eines Inductionsapparates ein. Von der secundären Spule führen zwei Drähte zu Reizelektroden, etwa so beschaffen, wie die S. 43 beschriebenen, die der zu reizenden Stelle angelegt werden. Man stellt die secundäre Spule zur primären so, dass Oeffnung des primären Stromes eine Erregung durch den inducirten Strom bewirkt.

2. Für Gehörsempfindung: Zur Oeffnung des Stromkreises benutzt man einen Federcontact von der Beschaffenheit des S. 67 beim Cylindermyographion beschriebenen. Die Oeffnung bewirkt man so, dass man mit einem Metallstäbchen (Stricknadel oder

Messerrücken) gegen den Contact anschlägt. Dadurch kommt gleichzeitig mit der Oeffnung ein Schall zu Stande, der zur Erregung der Gehörsempfindung dient.

Ferner kann man in den Stromkreis einen Inductionsapparat einschalten, in dessen secundären Kreis ein Telephon eingeschaltet ist, das die Versuchsperson ans Ohr hält. Der Oeffnungsinductionsstrom erzeugt im Telephon den zur Erregung der Empfindung dienenden Schall.

Zur Erregung der Gehörsempfindung kann man auch einen elektrischen Funken benutzen, den man erzeugt mit Hilfe eines Ruhmkorff'schen Funkeninductors. Dieser Apparat ist im Principe gerade so construirt, wie das zu physiologischen Zwecken verwendete Inductorium. Man schaltet die primäre Spirale eines Funkeninductors in den Strom ein, durch dessen Oeffnung man die Empfindung hervorrufen will. Die von den Enden der secundären Spirale kommenden Drähte werden mit ihren Enden einander so gegenüber gestellt, dass die Funken überspringen können. Zum Ueberspringen der Funken können auch besondere Entlader benutzt werden, bei denen die Funken zwischen zwei Platinspitzen überspringen. Der Knall, der beim Ueberspringen des Funkens entsteht, dient zur Erregung der Gehörsempfindung.

Wenn man in der beschriebenen Weise Tast- und Gehörsempfindung erregen will, so lässt man die Versuchsperson den Blick von dem Contact ganz wegwenden, damit nicht gleichzeitig eine Gesichtsempfindung ins Spiel kommt und den Versuch stört. Wenn bei der Gehörsempfindung etwa Geräusche (Stimmgabel, Uhrwerk) stören, so stellt man Versuchsperson, Reizvorrichtung (Telephon, Funkeninductor) und Reactionsschlüssel in einem anderen Zimmer auf, von dem die nöthigen Drahtleitungen zum Experimentirzimmer führen.

3. Für Gesichtsempfindung: Man benutzt wieder den Federcontact, hält die Hand mit ausgestrecktem Zeigefinger so, dass der Finger den Contact eben nicht berührt, dass aber eine geringe Flexion des Fingers genügt, den Contact zu öffnen. Man öffnet den Contact durch Bewegung des Fingers und giebt der Versuchsperson auf. zu reagiren, sobald sie die Bewegung des Fingers gesehen hat.

Noch besser ist es, Gesichtsempfindungen zu erregen durch das Ueberspringen des elektrischen Funkens, der ebenso wie bei der Gehörsempfindung mit dem Funkeninductor erzeugt wird.

ad c) Zur Ausführung der Reaction lässt man die Versuchs-

person einen bereit gehaltenen Finger so schnell als möglich bewegen und dadurch:

1. Entweder einen Stromkreis in einem Contact schliessen oder öffnen, und den Schluss oder die Oeffnung durch einen Signalschreiber wie ad b) an der Trommel markiren.

2. Oder direct einen Zeichenhebel bewegen, wie er bei der graphischen Registrirung der Muskelcontraction verwendet worden ist. Der Finger hält vorher den Hebel ruhig und bewegt ihn im Moment der Reaction. Es darf dem Nachdenken des Lesers überlassen werden, irgend eine passende Verbindung des Fingers mit dem Hebel, die zum Versuch nöthig ist, zu finden.

Bei Verwendung des Baltzar'schen Kymographions kann man zu dem vorliegenden Zwecke den Apparat verwenden, der nach der Beschreibung S. 76 zur Zeitmarkirung und zur Markirung von Reizmoment benutzt wird. Man braucht den Zeitschreiber jetzt aber zur Registrirung des Reizmoments in der vorhin beschriebenen Weise, lässt dagegen den Schlüssel, dessen Bewegung direct auf die Trommel geschrieben wird, von der Versuchsperson zur Markirung des Reactionsmoments bewegen. Beide Zeichner stehen hier schon senkrecht über einander.

Statt zwei Zeichner für Reiz- und Reactionsmoment zu benutzen, kann man auch mit einem auskommen, etwa so, dass man im Reizmoment den Zeichner eines Signalschreibers, wie vorhin beschrieben, sich bewegen lässt, dagegen im Reactionsmoment den Strom wieder schliesst, so dass derselbe Zeichner sich von Neuem bewegt und auch die Reaction markirt. Damit das ermöglicht wird, hat man nur den Hauptstromkreis in zwei Zweigleitungen zu theilen: in der einen muss der Schlüssel sein, der im Reizmoment geöffnet wird, in der anderen der Schlüssel, der bei der Reaction durch die Versuchsperson geschlossen werden muss. Das elektrische Signal befindet sich im unverzweigten Hauptkreis.

Man kann das Verfahren ferner noch vereinfachen, wenn man zur Reizung den Contact benutzt, der an den Stativen der Schreibflächen angebracht ist und, wie bei der Beschreibung dieser Apparate näher aus einander gesetzt wurde, durch die Bewegung der Schreibfläche selbst geöffnet wird. Man braucht auch hier ausser dem Zeitschreiber nur noch einen Schreiber, nämlich den für die Reaction. Der Reizmoment lässt sich in derselben Weise feststellen, wie es auch mit dem Reizmoment bei der Registrirung der Muskelzuckung geschah, nämlich so:

Nachdem man den Zeichner für den Reactionsmoment an die Schreibfläche angelegt hat, schliesst man den Contact am Schreibflächenstativ und stellt die Schreibfläche so, dass der Zapfen, der bei der Bewegung den Contact zu öffnen hat, dem geschlossenen Contact gerade anliegt; die geringste Bewegung des Zapfens gegen den Contact zu wird dann den Contact öffnen. Bei dieser Stellung der Schreibfläche lässt man nun den Reactionsschreiber eine Linie an die Fläche zeichnen. Diese Linie giebt uns die Stellung des Reactionsschreibers an in dem Moment, wo die zur Erregung der Sinnesempfindung dienende Contactöffnung erfolgt. Der horizontale Abstand dieser Linie von dem im Versuche durch die Zeichnung des Reactionsschreibers zu erhaltenden Reactionsmoment dient zur Berechnung der Reactionszeit. Als Zeichner wird in dem Falle ein einfacher Schreibhebel von der Art der zur Registrirung der Contraction verwendeten oder ein elektrischer Signalschreiber benutzt.

Bei dieser Versuchsweise ist noch Folgendes die Erregung der Sinnesempfindung Betreffende zu beachten.

1. Für die Tastempfindung: Damit nicht gleichzeitig mit der Tastempfindung durch den Anschlag des Zapfens an den Contact eine Gehörsempfindung erregt wird und störend wirkt, stecke man an den Zapfen ein Stückchen dünnen Gummischlauches an. Nun ist der Anschlag nicht mehr hörbar. Die Erregung erfolgt, wie früher, durch Inductionsstrom. Dasselbe gilt auch für die Gesichtsempfindung.

2. Für die Gehörsempfindung kann man wieder den hörbaren Anschlag des Zapfens am Contact oder das Telephon oder den Funken des Funkeninductors benutzen.

3. Für die Gesichtsempfindung würde die Versuchsperson die Bewegung des Contacts durch den Zapfen der Schreibfläche zu beobachten haben, oder noch besser, den überspringenden Funken eines Funkeninductors, der in die Leitung durch den Contact eingeschaltet ist.

Oder man trifft folgende Anordnung: Man lässt durch die Contactöffnung einen Inductionsstrom erzeugen, der einen ausgeschnittenen Froschmuskel reizt. Die Bewegung des Muskels wird vergrössert aufgezeichnet durch einen Längenzeichner auf die Schreibfläche. Der Moment, wo der Längenzeichner sich zu heben beginnt, der auf diese Weise genau registrirt wird, dient als Reizmoment, indem die Versuchsperson die Bewegung zu beobachten

und darauf zu reagiren hat, sobald sie den Beginn der Bewegung gesehen hat. Es ist dabei um so günstiger, je schneller die Aufwärtsbewegung des Längenzeichners erfolgt. Da nun die Bewegung um so schneller vor sich geht, je höher die Temperatur des Muskels ist, so kann man die Versuchsbedingungen noch günstiger gestalten, wenn man den Muskel in bekannter Weise auf etwa 30° C. erwärmt, ferner auch noch, wenn man die Vergrösserung sehr gross macht und den Muskel möglichst gering, am besten nur mit dem Zeichner belastet. Für die Registrirung der Reaction benutzt man in diesem Falle noch einen zweiten Zeichner, der in einer der früher angegebenen Weisen bei der Reaction bewegt wird.

Anstellen des Versuchs. Man stellt die Zeichner, die man anwendet, genau senkrecht über einander auf und lehnt sie so der Schreibfläche an, auch den Zeichner für die Zeitschreibung. Nachdem man die ganze Aufstellung vollendet und die Versuchsperson über Art des Sinneseindrucks und der Reaction genau instruirt hat, setzt man die Schreibfläche in Bewegung und reizt darauf in beabsichtigter Weise das Sinnesorgan. Das Weitere ist der Versuchsperson zu überlassen. Man erhält dann auf der Schreibfläche die beiden Marken, bestimmt deren horizontale Entfernung von einander und rechnet mit Hilfe der Zeitmarkirung aus, welcher Zeit der Abstand beider Marken von einander entspricht. So erhält man die Reactionszeit. Bei der Ausmessung der Distanz der Marken ist die Latenzzeit der Signale (siehe S. 75) zu berücksichtigen.

Nach dem hier aus einander gesetzten Principe sind noch zahlreiche Verfahren angegeben worden, die aber nicht alle einzeln beschrieben werden können. Zum Studium der Methodik sei u. A. empfohlen:

v. Kries und Auerbach, Du Bois-Reymond's Archiv f. Physiol. 1877.

v. Wittich, Zeitschr. f. rat. Medic., Bd. XXXI, und Pflüger's Archiv f. d. ges. Physiol., Bd. II. 1868.

Donders, Archiv f. Anat. u. Physiol. 1868.

Exner, Pflüger's Archiv f. d. ges. Physiol., Bd. VII. VIII u. XI.

v. Vintschgau und Hönigschmied, Pflüger's Archiv f. d. ges. Physiol., Bd. XII u. XIV.

Langendorff, Physiol. Graphik, S. 161.

In den citirten Abhandlungen findet man noch weitere Literatur.

Für die Zwecke der Praxis ist noch ein zwar weniger genauer, aber dafür sehr einfacher Apparat von Exner (Pflüger's Archiv f. d. ges. Physiol., Bd. VII) angegeben worden, das sogenannte **Neuramöbimeter** (ἀμοιβή, Antwort). Er besteht im Wesentlichen aus einer in einem Charnier beweglichen metallischen Feder, die ihre Schwingungen auf einer berussten Glasplatte zeichnet. Die Feder kann durch einen Druck auf ein Hebelwerk von der Glas-

platte abgehoben werden, so dass sie also nicht mehr zeichnet. Während nun der Untersuchende die auf einem Schlitten liegende Glasplatte mit der Hand schiebt, wird die vorher gespannte und durch einen Zapfen zurückgehaltene Feder losgelassen und beginnt von nun ab ihre Schwingungen auf die Glasplatte zu zeichnen. Die Versuchsperson hat den Auftrag, sobald sie das Losschlagen der Feder sieht, mit der schon früher aufgelegten Hand dieselbe von der Glasplatte abzuheben. Die Anzahl der Schwingungen, die die Feder vom Moment des Losschlagens bis zu dem Momente, in dem sie abgehoben wurde, zu zeichnen Zeit hatte, giebt nun die Reactionszeit an und zwar, da die Feder 100 Schwingungen in der Secunde macht, gleich in $\frac{1}{100}''$. Es lassen sich natürlich noch $\frac{1}{1000}''$ schätzen. Für den Fall, dass man die Reizung durch Oeffnen oder Schliessen eines elektrischen Stromes bewerkstelligen will, ist an dem Apparat noch eine besondere Vorrichtung angebracht, die es ermöglicht, in demselben Moment, wo die Feder zu schwingen beginnt, den Strom zu öffnen oder zu schliessen.

2. Bestimmung der Reactionszeit mittels Uhrwerks zur Messung kleiner Zeiträume.

Zur Messung kleiner Zeiträume mittels Uhrwerks wurde zuerst von Wheatstone der elektrische Strom in folgender Weise benutzt. Zunächst war der Strom geschlossen und ein in ihn eingeschalteter Magnet zog einen Anker an und hemmte dadurch den Gang einer Uhr. Bei Beginn des zu messenden Zeitraumes wird der Strom geöffnet, der Anker wird losgelassen und das Uhrwerk läuft so lange, bis der Strom wieder geschlossen wird. Aus dem Zeigerstande der Uhr zu Beginn und zu Ende des Offenseins des Stromkreises ergiebt sich die Zeit. Die Uhr muss so eingerichtet sein, dass sie noch sehr kleine Theile einer Secunde angeben kann.

Der Hauptfehler in dieser Vorrichtung liegt darin, dass das Uhrwerk erst beim Beginne der zu messenden Zeit in Gang gesetzt wird. Es verstreicht daher eine gewisse Zeit, bis das Werk in gleichförmigen Gang gekommen ist. Deshalb hat Hipp den Apparat dahin abgeändert, dass er das Uhrwerk zunächst ohne den Zeiger von vorneherein in Gang setzt und den Elektromagneten nur dazu benutzt, die Verbindung des Zeigers mit dem schon in Gang befindlichen Uhrwerk herzustellen und zu unterbrechen.

Der Apparat, **Hipp's Chronoskop**, ist so eingerichtet (siehe die schematischen Zeichnungen in Fig. 87 und 88):

Auf einer durch Säulen s s (Fig. 87) getragenen Holzplatte H_1 steht das Uhrwerk u, das auf seiner Vorderseite zwei Zifferblätter z_1 und z_2 mit Zeigern trägt. Jedes Zifferblatt zeigt eine Eintheilung in 100 Theile. Der Zeiger von z_1 dreht sich einmal in 10″ um. ein Theilstrich entspricht also hier 0,1″, der von z_2 in 0,1″; hier entspricht also der Theilstrich 0,001″. Das Uhrwerk wird getrieben durch ein Gewicht P, das mit Uhrschlüssel aufgezogen wird. Der Uhrschlüssel wird zum Aufziehen auf die Axe von z_1 aufgesetzt, die dazu vorne vierkantig hervorsteht. Die Drehung des Uhrschlüssels erfolgt in

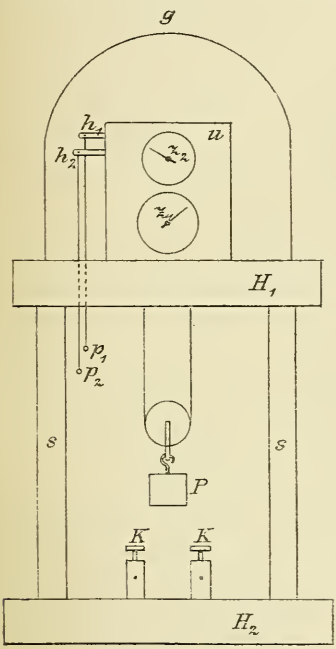
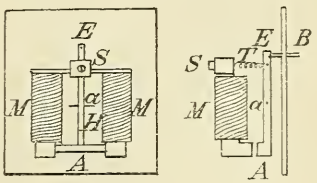


Fig. 87.



a b

Fig. 88.

umgekehrter Richtung, wie die Bewegung des Zeigers auf dem Zifferblatt z_1. Um das Uhrwerk aufzuziehen, muss man die es bedeckende Glasglocke g abheben. Bei h_1 und h_2 ragen zwei Hebel aus dem Uhrgehäuse hervor. Drückt man h_1 nach unten, so wird die Uhr in Gang gesetzt, drückt man danach auf h_2, so wird der Gang arretirt. Damit man das machen kann, ohne die Glasglocke abzunehmen, gehen von beiden Hebeln Fäden nach unten durch Löcher in der Holzplatte H_1 hindurch, an deren Enden Perlen p_1 und p_2 hängen. An diesen kann man ziehen und dadurch die Hebel bewegen. KK sind die Polschrauben für die zuleitenden Drähte des Stromkreises, die an der Grundplatte H_2 des Stativs angebracht sind.

Auf der Rückenseite des Uhrgehäuses (Fig. 88a) befindet sich der Elektromagnet MM, der vom Strom umkreist wird und den Anker A anzieht — in Fig. 88b von der Seite gesehen. Der

Anker A ist am unteren Ende eines Hebels angebracht, der um die Axe a drehbar ist. Durch die Feder T wird der Hebel so gehalten, dass A vom Magneten abgezogen wird, so lange der Strom nicht vorhanden ist. Wird M magnetisch, so wird A angezogen und demnach das obere Ende E des Hebels gegen das Uhrgehäuse zu bewegt. Dadurch wird auch die Axe B, die die Axe des oberen Zeigers ist, in ihrer eigenen Richtung verschoben. Ein an ihr angebrachter Zapfen wird dadurch aus einem Zahnrad des Uhrwerks, dem er bei geöffnetem Strom anliegt, herausgedrückt, so dass er, und in Folge dessen auch die Axe, nun nicht mehr mitbewegt wird. Oeffnet man den Strom, so springt der Zapfen in das Zahnrad ein, er wird danach mitbewegt und in Folge dessen auch Axe und die beiden Zeiger. Will man die Zeiger danach wieder unbeweglich feststellen, so schliesst man den Strom wieder. Zur Messung kleinster Zeiträume wird der Strom zunächst geschlossen gehalten, das Uhrwerk in Gang gesetzt und die Zeigerstellung abgelesen. Nun öffnet man im Beginne der zu messenden Zeit den Strom, — die Zeiger werden nun bewegt, bis man am Schluss der zu messenden Zeit den Strom wieder schliesst. Die Zeiger stehen nun still. Man liest die neue Zeigerstellung ab: Die zwischen Oeffnen und Schliessen des Stromes verflossene Zeit ergiebt sich aus der Differenz der beiden Zeigerstellungen.

Eine Fehlerquelle liegt bei dem Apparate darin, dass der Anker nicht immer rasch genug vom Magneten an- und abgezogen wird. Man muss diesen Fehler durch passende Wahl der Stromstärke und Spannung der Abreissfeder T möglichst gering zu machen suchen. Die Spannung der Feder lässt sich verändern durch Drehen an der Schraube S, Fig. 88 a und b.

Um den Apparat auf seine Genauigkeit zu prüfen, ist ihm ein **Fallapparat** beigegeben, den man nach folgendem Principe benutzt. Nachdem das Uhrwerk in Gang gesetzt ist, lässt man eine Kugel um einen bestimmten Betrag fallen und öffnet im Beginn des Fallens den Strom, schliesst ihn wieder im Moment, wo die Kugel durch den bestimmten Raum gefallen ist. Die vom Chronoskop angegebene Zeit muss gleich der nach den Fallgesetzen berechneten sein. Letztere findet man bekanntlich nach der Formel

$$t = \sqrt{\frac{2s}{g}} \text{ Secunden,}$$

worin s der Fallraum in Metern. $g = 9{,}8$ m ist.

Der Fallapparat dient dazu, die Oeffnung und Schliessung des Stromes genau bei Beginn und Ende des Falls zu bewirken.

An einer senkrecht stehenden Holzstange ist eine Vorrichtung verschieblich von folgender Art: Zwei horizontal neben einander gestellte Messingarme M_1 und M_2, in Fig. 89 von oben gesehen, die an ihren Enden so gebogen sind, dass sie eine ringförmige Oeffnung R zwischen sich lassen, sind in einer horizontalen Ebene drehbar um die Axen A_1 und A_2. Die Messingarme sind durch die Vorrichtung bei Q in der Weise beweglich verbunden, dass sie durch die Feder F aus einander gedrückt werden in der Richtung der beiden Pfeile bei R. Dadurch wird das Loch R vergrössert. Entgegen dem Druck der Feder können nun die Messingarme zusammen gehalten werden durch zwei an ihnen angebrachte Nasen N_1 und N_2. N_1 ist mit M_1 fest verbunden, N_2 mit M_2 beweglich und zwar verschiebbar in der Pfeilrichtung. Die Verschiebung von N_2 geschieht dadurch, dass man den Hebel H in der bei H angedeuteten Pfeilrichtung bewegt. Verschiebt man N_2, so hört der Zusammenhalt von M_1 und M_2 durch die Nasen N_1 und N_2 auf. M_1 und M_2 federn aus einander, die Oeffnung R wird grösser und eine Kugel, die vorher dem durch die Messingarme gebildeten Ring gerade noch auflag, beginnt nun durch R hindurch zu fallen.

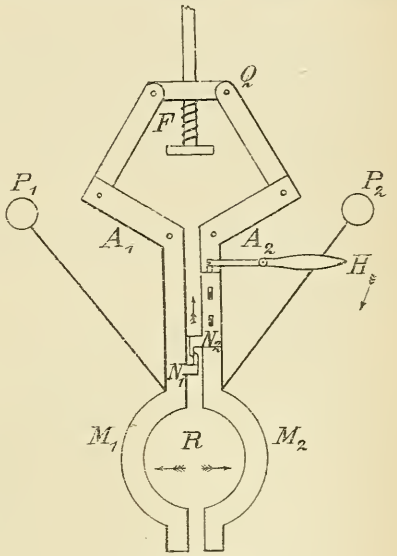


Fig. 89.

Gleichzeitig findet aber auch Oeffnung des Stromes statt: Die Nasen N_1 und N_2 stellen nämlich einen Contact dar, sie sind leitend verbunden mit den Polschrauben P_1 und P_2, an denen die zuleitenden Drähte angeschraubt werden. Sind die Nasen durch die Bewegung von H von einander entfernt worden, so ist die Stromleitung unterbrochen. Die Oeffnung des Stromes geschieht also in dem Moment, wo auch die Kugel zu fallen beginnt.

Die Kugel fällt auf ein Holzbrettchen auf, das an seiner unteren Seite eine Messingleiste trägt. Diese Messingleiste liegt

zunächst dicht über zwei Messingfedern, ohne sie zu berühren. Durch die fallende Kugel wird das Holzbrettchen und damit die Messingleiste gegen die Federn angedrückt und durch eine Sperrvorrichtung hier festgehalten. Da die Federn durch Drähte wieder mit der Stromleitung verbunden sind, findet in diesem Contact nun wieder ein Schluss statt. Die Schliessung wird also bewirkt, wenn die Kugel aufhört zu fallen.

Damit durch die Vorrichtung, von der aus die Kugel fällt, die Oeffnung, durch die Vorrichtung, auf die sie auffällt, der Schluss des Stromes bewirkt werden kann, müssen von der unverzweigten Hauptleitung zwei Zweigleitungen abgehen, in deren eine die obere, in deren andere die untere Vorrichtung eingeschaltet ist.

Der Fallraum ist der Abstand der Oberfläche des Holzbrettchens von der Unterseite der Kugel vor Beginn des Falls. Man misst ihn mit einem Massstab.

Die Stromstärke wird am besten so stark gewählt, dass sie hinreicht, um den Anker prompt anzuziehen und sicher festzuhalten, aber nicht viel stärker, weil dann leicht das Losreissen des Ankers zu sehr gehemmt sein kann. Man erreicht das in bekannter Weise mit Hilfe von Rheostaten oder Rheochorden, die man in Nebenleitungen einschaltet, falls es zum Zwecke der Erregung der Empfindungen durch die Oeffnung desselben Stromes nöthig sein sollte, in der unverzweigten Hauptleitung einen stärkeren Strom zu haben, als für das Chronoskop passt.

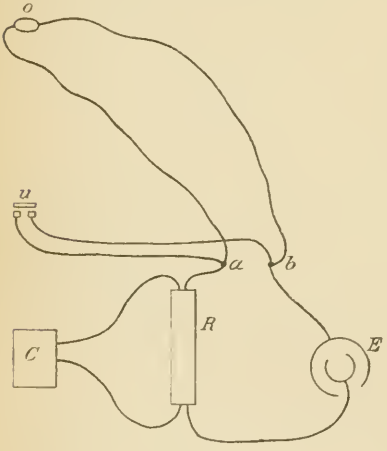


Fig. 90.

Aufstellung zum Fallversuch: Siehe Schema in Fig. 90. E ist das Element (Tauchelement), R der Rheochord, C Chronoskop, o der obere, u der untere Theil des Fallapparats, zu denen von den Punkten a und b der unverzweigten Hauptleitung aus die beiden Zweigleitungen führen. In eine der Leitungen zwischen Rheochord und Chronoskop ist eventuell noch ein Galvanometer einzuschalten zur Bestimmung der Stromstärke (siehe unten).

Anstellen des Versuches. Nachdem man die ganze Aufstellung gemacht hat, die Kugel auf R des oberen Theils des Fallapparats aufgelegt und den Fallraum gemessen hat, setzt man das Uhrwerk in Bewegung — die Zeiger bewegen sich zunächst noch nicht, weil der Strom geschlossen ist. Man liest die Zeigerstellung ab. Nun lässt man die Kugel in der angegebenen Weise fallen, während sie fällt, ist der Stromkreis offen, die Zeiger bewegen sich. Schlägt die Kugel auf, so stehen die Zeiger wieder still. Man bestimmt aus den Zeigerstellungen die Zeit. Man mache mehrere Versuche derart und berechne aus den erhaltenen einzelnen Zahlen das Mittel; dasselbe muss mit der nach der Formel berechneten Zahl übereinstimmen. Kleine Abweichungen kommen allerdings vor und sind nicht auszuschliessen. Eine zweite Versuchsreihe stellt man an bei einer anderen Stellung des oberen Theils des Fallapparats, also bei anderem Fallraum. Wählt man z. B. in der zweiten Versuchsreihe den Fallraum gleich $\frac{1}{4}$ des in der ersten, so muss dann die Fallzeit halb so gross sein.

Weichen die vom Chronoskop erhaltenen Zahlen sehr von den berechneten ab, so muss man versuchen, durch Veränderung der Spannung der Abreissfeder T mittels Drehen an der Schraube S, oder durch Aenderung der Stromstärke diejenigen Bedingungen ausfindig zu machen, unter denen der Apparat gute Resultate giebt. Das geschieht so:

Wenn die Fallzeit im zweiten Falle nicht halb so gross, wie im ersten ist, dann sucht man die Zahl, die bei beiden Resultaten hinzuzufügen oder abzuziehen ist, um im zweiten Falle den halben Werth zu geben, z. B.:

Es sei erhalten

für 400 mm Fallraum: 301 Tausendstel Secunden
„ 100 „ „ : 159 „ „

$301 - 17 = 284$; $159 - 17 = 142$.

Ist eine Zahl zu subtrahiren, dann ist die Feder zu stark gespannt oder der Strom zu schwach, ist eine Zahl zu addiren, dann ist die Feder zu schwach gespannt oder der Strom zu stark.

Man schaltet bei diesem Versuche ein Galvanometer in den Stromkreis zwischen Rheochord und Chronoskop ein, um auch die Stromstärke zu bestimmen, für die man den Apparat in der angegebenen Weise justirt. Bei Verwendung des so hergerichteten Apparats zu weiteren Versuchen ist nun immer dieselbe Stromstärke anzuwenden, wie die bei der Justirung verwendete. Man schaltet zu dem Zweck immer wieder dasselbe Galvanometer ein und stellt mit Hilfe des Rheochords eine solche Stromstärke her, die denselben Ausschlag des Galvanometers angiebt, wie bei der Justirung.

Messung der Reactionszeit mit Hipp's Chronoskop. Der Versuch wird im Principe gerade so angestellt wie der Fallversuch, nur dass hier:

1. Statt des oberen Theils des Fallapparats ein Schlüssel oder Contact in die eine Zweigleitung eingeschaltet ist, dessen

Oeffnung, wie bei der Beschreibung des graphischen Verfahrens angegeben, die Erregung der Empfindung bewirkt.

2. Statt des unteren Theils des Fallapparats ein Schlüssel eingeschaltet ist, der, zunächst offen, durch die reagirende Bewegung der Versuchsperson geschlossen wird.

XXVI. Kapitel.

Messung des intraocularen Drucks. Ophthalmotonometer.

Literatur: A. Fick, Pflüger's Archiv f. d. ges. Physiol., Bd. 42, S. 86.
R. Fick, Verhandl. d. physik.-medic. Ges. Würzburg, Bd. XXII, Nr. 5.

Vorbemerkung. Zur Einleitung in die Physiologie des Auges empfiehlt es sich, die Anatomie durch eingehende Präparation zu studiren. Das geschieht am besten an Augen von Ochsen oder Schweinen, die man aus dem Schlachthaus bezieht. Betreffs des Baus des Auges selbst muss auf die Lehrbücher der Anatomie verwiesen werden.

1. Princip der Messung des intraocularen Drucks.

Das Auge besteht aus einer Blase, deren Wand von einer biegsamen Membran gebildet ist und in deren Innerem ein gewisser hydrostatischer Druck herrscht.

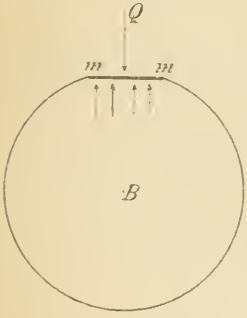


Fig. 91.

Es sei in der Figur 91 die Blase dargestellt durch B. Es werde ein ebenes Plättchen m m gegen die Blase gedrückt mit einer Kraft Q und zwar genau so tief, dass die nächst angrenzenden Theile der Blasenwand mit der unteren Fläche des Plättchens genau in eine Ebene fallen, dass also hier die Wand in der Ausdehnung des Plättchens gerade platt gedrückt ist. Dann ist die Kraft Q dem auf die Oberfläche des Plättchens nun entfallenden hydrostatischen Drucke im Inneren genau gleich. Die Kraft Q hält dem hydrostatischen Drucke hier genau das Gleichgewicht, die Wand ist in der Richtung, in der die Kraft Q wirkt, daher ganz entspannt.

Wird dagegen das Plättchen von der Kraft Q nur so weit in die Blase eingedrückt, dass sein Rand noch frei hervorsteht, so ist Q kleiner als der hydrostatische Druck, wird umgekehrt das Plättchen so tief in die Blase eingedrückt, dass sich die Wand um das Plättchen hervorwulstet, so ist Q grösser als der hydrostatische Druck, denn im ersteren Falle wird ein Theil des hydrostatischen Druckes noch aufgewendet, um die Wand an der betreffenden Stelle zu spannen, nur der übrige Theil hält Q das Gleichgewicht, und im zweiten Falle hält Q dem hydrostatischen Druck das Gleichgewicht und bewirkt ausserdem noch eine Spannung der Blasenwand, an dieser Stelle entgegengesetzt derjenigen, die vom hydrostatischen Druck bewirkt werden würde.

2. Ophthalmotonometer von Fick.

Der Apparat ist so gebaut (Fig. 92): Ein ganz dünnes Schildchen von Messing m m von 6—7 mm Durchmesser sitzt auf einem kleinen Drahtstiele n, der an einem federnden Stahlstreifen f f befestigt ist. Das andere Ende desselben ist an einem starken Messingrähmchen K K befestigt, in dessen Lichtung das Streifchen in seiner Gleichgewichtslage ganz frei steht. Das Rähmchen trägt ausserdem die Skala s, an der abgelesen werden kann, wie weit die Feder ausgebogen ist, und einen passenden Handgriff, der in der Figur nicht gezeichnet ist.

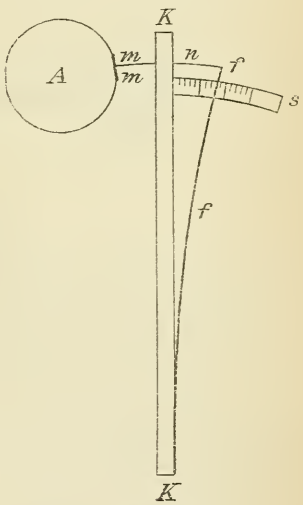


Fig. 92.

Man drückt nun, indem man den ganzen Apparat mittels des Handgriffs führt, das Schildchen gegen das zu untersuchende Auge an, wie in der Figur angedeutet ist, bis es mit der nächst angrenzenden Zone des Auges genau eine Ebene bildet. Dann liest man an der Skala s ab, wie viel Gramm Druck das Schildchen bei dieser Biegung der Feder gegen das Auge ausübt. Der hydrostatische Druck im Auge entspricht dann der Höhe einer Quecksilbersäule, deren Grundfläche die Fläche von m m und deren Gewicht die gefundene Anzahl von Grammen ist.

Um sich im Gebrauch des Apparates zu üben, stellt man zunächst eine Reihe schematischer Versuche in folgender Art an. Man bezieht aus dem Schlachthause Schweins- oder Schafsaugen, säubert die Oberfläche derselben sorgfältig von allem an ihnen ansitzenden Gewebe und entfernt auch die Muskelansätze. Vom Sehnerven lässt man aber noch ein Stück von mindestens 1 cm am Auge sitzen. Nun führt man eine Reibahle in den Sehnerven ein und bohrt damit ein Loch in denselben ein, das Loch wird weiter geführt bis ins Augeninnere und durch das Loch der ganze Inhalt des Auges ausgeräumt. Damit das gut geht, wird der Inhalt des Auges vorher mit der Spitze der Reibahle zu einem Brei zermalmt. Nun legt man ein Glasröhrchen von passender Weite in das Loch im Sehnerven ein. Das Glasröhrchen besitzt eine Einschnürung,

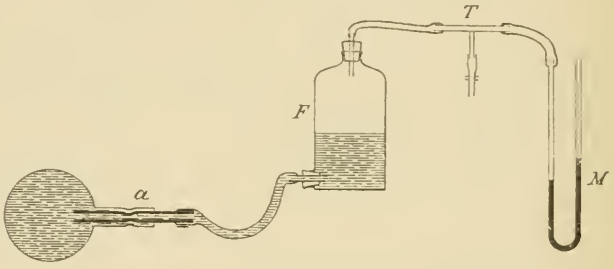


Fig. 93.

a Fig. 93. über der der Sehnerv auf ihm festgebunden werden kann, so dass er nicht abrutscht. Das Glasröhrchen wird durch Vermittlung einer kleinen unten tubulirten, theilweise mit Wasser, theilweise mit Luft gefüllten Flasche F verbunden mit einem Quecksilbermanometer M. Etwa im Auge noch befindliche Luft sucht man durch Ausquetschen zu entfernen, nachdem man die Verbindung hergestellt hat. In der Leitung zwischen F und M befindet sich ein T-Rohr T, an dessen freier Oeffnung ein Gummischlauch angebracht ist, in den man Luft einblasen und den man mit einer Klemmpincette zuklemmen kann. Bläst man Luft ein, so wird der Druck in der ganzen Leitung, also auch im Augeninneren erhöht, das Manometer giebt diesen Druck an. Danach wird mit dem Instrument der Druck im Augeninneren auf einer ganz sauberen Stelle der Sklera oder der Cornea gemessen. Man fasst das Auge mit der linken Hand und drückt die Platte mit der rechten auf so lange bis die Sklera gerade plan gedrückt erscheint, d. h. sich

eben um den Rand Wülste zu bilden anfangen. Man achte darauf, dass die Platte auf allen Seiten gleichmässig angedrückt wird. Nun liest man den Druck auf der Skala ab. Es ist leicht, Platte und Skala bei der Ablesung beide im Auge zu behalten. Man berechnet aus der durch die Skala angegebenen Zahl den Druck in mm Quecksilber; die berechnete Zahl muss mit dem Stande des Manometers übereinstimmen. Solche Versuche stellt man mehrere an bei verschiedenen Drucken. Man wird im Anfang wenig gute Resultate erhalten; dieselben bessern sich aber mit fortschreitender Uebung.

Hat man sich an dem Schema hinlänglich geübt, so versuche man jetzt den intraocularen Druck am Auge des lebenden Kaninchens zu bestimmen. Man findet leicht ein ruhiges Kaninchen, das sich eignet zu solchen Versuchen; die meisten bleiben ganz ruhig dabei und stören nicht durch Bewegungen den Versuch. Man hält den Kopf des Thieres mit der linken Hand so, dass das zu untersuchende Auge nach oben sieht und gut beleuchtet ist. Der obere Theil der Sklerotika wird dann schon in genügender Weise frei; wenn nicht, so zieht man das obere Lid noch mit einem Finger zurück, ohne dabei aber auf das Auge selbst einen Druck auszuüben. Nun setze man die Platte auf, vermeide dazu aber die Stelle, wo der Musculus rectus superior ansetzt. Die Bestimmung wird dann so gemacht, wie bei dem Schema und der Druck umgerechnet in Millimeter Quecksilber.

Hat man sich auch in solchen Versuchen gehörig geübt, so kann man nun dazu übergehen, die Bestimmung am Menschen zu machen. Man suche sich zu den ersten Versuchen ein Individuum aus, das wenig reizbar ist und die nöthige Willensstärke besitzt, um das Auge ruhig offen zu halten, wenn man Sklera oder Cornea berührt. Man stellt die Versuchsperson mit der linken Schulter gegen das Fenster, lässt sie nach rechts sehen, und die Augen weit offen halten. Dann wird ein genügend grosses Stück des äusseren Theiles der Sklera des linken Auges für den Versuch frei. Das Instrument wird wie früher angelegt.

Wenn die Versuchsperson zuckt, nehme man das Instrument vorsichtig ab. Sollte das Plättchen zwischen die Lider eingeklemmt werden, so ziehe man es nicht sofort heraus, sondern halte es ruhig und fordere die Versuchsperson erst auf, das Auge ruhig zu öffnen, dann nimmt man es vorsichtig heraus.

XXVII. Kapitel.

Bild auf der Netzhaut des ruhenden Auges.

Man verschaffe sich ein weisses Kaninchen, einen sogenannten Albino, tödte [1]) dasselbe und schneide gleich nach dem Tode vorsichtig ein Auge heraus, ohne den Bulbus zu verletzen. Man präparirt die Sklera ganz frei von allen an ihr noch hängenden Bindegewebs- und Muskelfetzen und schneidet auch den Opticus bis auf einen kleinen Stumpf ab. Dicht an der Sklera darf man den Opticus nicht durchschneiden, weil dann zu leicht ein Loch entstehen könnte, aus dem der Glaskörper ausfliesst.

Man stelle sich dem Fenster gegenüber, aber weit von demselben entfernt auf, halte nun das Auge zwischen zwei Fingern so, dass die Hornhaut dem Fenster zugekehrt ist, und beobachtet die Rückseite des Auges von hinten; man sieht dann auf der Rückwand ein deutliches umgekehrtes reelles Bild des Fensters und der Gegenstände draussen. Geht man nahe an das Fenster heran, so wird das Bild des Fensters undeutlicher. Ebenso werden die Bilder undeutlicher, wenn man vor die Cornea noch eine Linse, sei es eine Convex- oder eine Concavlinse vorhält.

Der Versuch lässt sich in dieser Weise nur beim Albino anstellen, weil bei anderen Thieren das Pigment der Chorioidea das Bild verdeckt. Hier muss man erst Sklera und Chorioidea hinten von der Netzhaut abpräpariren, ehe man das Bild deutlich auf der Netzhaut sehen kann.

Zum Festhalten des Auges bei diesem Versuche giebt es auch besondere Apparate: Pincetten, an deren Branchen Ringe angebracht sind, zwischen die das Auge in passender Weise eingeklemmt wird.

---

[1]) Man kann das Thier schnell tödten, wenn man es mit der linken Hand an den Hinterbeinen in die Höhe hebt und nun mit der ulnaren Kante der rechten Hand einen kräftigen Hieb gegen die Gegend zwischen Schädel und Atlas führt. Das Thier bricht dann das Genick und ist sofort todt.

An dem Thiere kann man vorher den im Kapitel XXXI beschriebenen Versuch anstellen.

Die Leiche des Thieres verwende man zu anatomischen Präparationen, besonders der Halsgegend (siehe Kapitel XLVI).

XXVIII. Kapitel.

Ophthalmometer von Helmholtz.

Literatur: Helmholtz, Handbuch der physiol. Optik. (Die zweite Auflage ist im Erscheinen begriffen.)

Wir stellen uns die Aufgabe, den Radius der Hornhautfläche beim lebenden Menschen zu messen.

Princip der Methode: Die Hornhautfläche kann als sphärischer Convexspiegel betrachtet werden, in dem sich die Gegenstände der Aussenwelt spiegeln. Es entsteht ein aufrechtes virtuelles Bild von diesen Gegenständen, das man leicht in den Augen seiner Mitmenschen erkennt.

Nun gilt für einen sphärischen Convexspiegel folgendes Gesetz:

$$r = \frac{2}{\left(\frac{1}{\alpha} - \frac{1}{a}\right)}\ ^{1)},$$

worin r der Radius, α der Abstand des Bildes von dem optischen Centrum — in unserem Falle dem Hornhautscheitel — und a der Abstand des Objects. a kann für ein bestimmtes Object direct gemessen werden; wählt man es so gross, dass der Bruch klein genug wird, um vernachlässigt werden zu können, so ist

$$r = 2\alpha.$$

Wenn wir im Stande sind, auch α zu bestimmen, so können wir r berechnen.

Es ist ferner, wenn b die Objectgrösse, β die Bildgrösse ist:

$$\alpha = \frac{a \cdot \beta}{b}, \text{ mithin } r = \frac{2 \cdot a \cdot \beta}{b}\ ^{2)}.$$

Die Objectgrösse sowohl, als die Bildgrösse können wir messen.

Nehmen wir als Object eine leuchtende horizontale gerade Linie, die dem Auge gegenüber aufgestellt ist. Es ist ohne weiteres klar,

---

[1]) Die Formel gilt allerdings nur annähernd, nämlich nur für Strahlen, die nicht zu schräg auf die Fläche auffallen. Siehe darüber die Lehrbücher der Physik.

[2]) Genauer: $r = \frac{\beta}{2 \sin\left[\frac{1}{2} \text{ arc. tang } \left(\frac{b}{2a}\right)\right]}$.

dass wir die Länge dieser Linie (b) und ihren Abstand vom Hornhautscheitel (a) direct mit Massstab messen können. Den Abstand wählen wir so gross, dass geringe Bewegungen des Kopfes der Versuchsperson, die schwer zu vermeiden sind, bei der Messung nur einen unbedeutenden Fehler ausmachen.

Auch β, die Grösse des Bildes, das sich uns als eine helle Linie hinter der Hornhaut präsentirt, könnten wir direct mit Zirkel und Massstab messen oder unter Zuhilfenahme eines Fernrohrs oder Mikroskops mit Ocularmikrometer. Solche Messungen sind in früherer Zeit auch öfters angestellt worden. Indessen wirken hier die unvermeidlichen Kopf- und Augenbewegungen störend und machen die Messung ungenau. Man muss sich hier zuerst merken, mit welchem Theilstrich des Massstabes resp. Mikrometers das eine Ende der zu messenden Linie coincidirt und dann zusehen, bei welchem Theilstrich der andere Rand liegt. In der dazwischen verstreichenden Zeit kann sich aber das beobachtete Auge und mithin das Reflexbild verschieben, so dass der zuerst fixirte Punkt desselben bei der Fixation des zweiten gar nicht mehr an dem Theilstrich liegt, an dem er zuerst lag. Um den Betrag dieser Verschiebung würde man also das Bild zu gross oder zu klein schätzen. Dieser Uebelstand ist bei dem Helmholtzschen Ophthalmometer vollständig vermieden, indem die Messung mit diesem Instrument darauf hinausläuft, eine einzige Coincidenz zu beobachten.

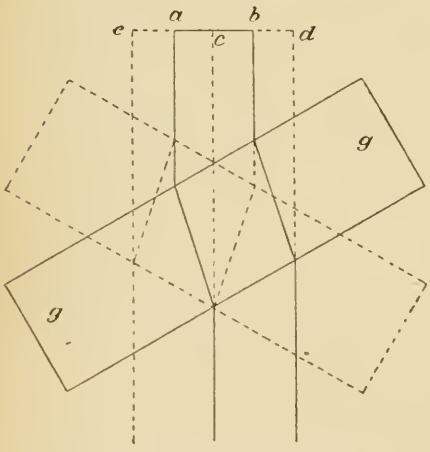


Fig. 94.

Princip des Apparates. Es sei a b (Fig. 94) die zu messende Linie. Betrachten wir diese Linie durch eine Glasplatte, die wir so zwischen unser Auge und die Linie bringen, dass sie der Linie parallel und senkrecht auf der Blickrichtung steht, so sehen wir die Linie an ihrem wahren Orte. Drehen wir nun aber die Glasplatte (g g, Fig. 94) so, dass ihre Ebene zur Richtung der Linie geneigt steht, so sehen wir jetzt in Folge der Brechung der Strahlen in der Glasplatte die Linie seitlich verschoben, wie aus der Con-

struction Fig. 94 hervorgeht in c d. Drehen wir die Platte so weit, dass wir jetzt das eine Ende der Linie a genau in der Mitte zwischen den beiden wirklichen Enden a und b der Linie sehen, so ist die Verschiebung gleich der Hälfte der Linie a b. Diese Verschiebung, also die halbe Bildgrösse, können wir aber aus dem Drehungswinkel, der Dicke und dem Brechungsindex der Glasplatte berechnen.

Zunächst ist es noch nöthig zu erörtern, wie wir den Punkt ausfindig machen, bei dem c gerade in der Mitte zwischen a und b liegt. Das ist bei Benutzung einer Glasplatte nicht möglich, wohl aber, wenn wir noch eine zweite Glasplatte über der ersten aufstellen, so dass wir a b gleichzeitig durch beide Platten betrachten können, und die zweite Platte genau um denselben Betrag drehen, wie die erste, aber in umgekehrter Richtung. Drehen wir nun die beiden Platten, so sehen wir aus der einen Linie a b zwei entstehen, die sich zunächst noch zum Theil decken, aber immer weiter aus einander weichen, je weiter wir die Platten drehen. Drehen wir die Platten so weit, dass die beiden einander zugekehrten Endpunkte der beiden Linien genau in einander fallen, so dass also die eine in c d, die andere in c e (Fig. 94) gesehen wird, so beträgt die Verschiebung beider gerade die Hälfte der Linie a b, d. i. der gesuchten Bildgrösse. Dieses Princip wenden wir zur Bestimmung der Grösse der Bilder der Lichtlinie hinter der Hornhaut an.

Die Verschiebung kann berechnet werden aus folgenden bekannten Grössen:

1. dem Drehungswinkel der Platten,
2. der Dicke der Platten,
3. dem Brechungsindex derselben, d. i. das Verhältniss des Sinus des Einfallswinkels zu dem Sinus des Brechungswinkels.

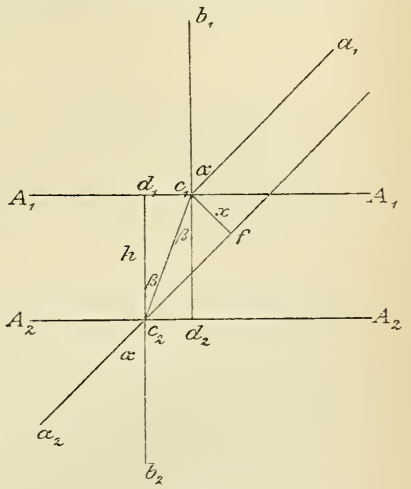


Fig. 95.

Es sei in Fig. 95 A_1 A_1 A_2 A_2 eine der Glasplatten, a_1 c_1 der einfallende, c_1 c_2 der gebrochene, c_2 a_2 der hindurch gegangene Strahl; b_1 c_1 d_2 das erste, b_2 c_2 d_1 das zweite Einfallsloth. Der

Einfallswinkel $b_1 c_1 a_1$, der dem Winkel $b_2 c_2 a_2$ gleich ist, werde mit α, der Brechungswinkel $d_2 c_1 c_2$, der gleich ist mit $c_1 c_2 d_1$, mit β bezeichnet und die Dicke der Platte mit h. Wird der Strahl $a_2 c_2$ rückwärts verlängert, so scheint der leuchtende Punkt a_1 für ein unterhalb der Platte befindliches Auge in dieser Verlängerung von $a_2 c_2$ zu liegen. Fällt man von c_1 ein Loth $c_1 f$, dessen Länge wir x nennen wollen, auf die genannte Verlängerung, so ist dies x die scheinbare seitliche Verschiebung des leuchtenden Punktes. Es ist im $\triangle c_1 c_2 f$:

$$x = c_1 c_2 \,.\, \sin \sphericalangle c_1 c_2 f,$$

ferner im $\triangle c_1 c_2 d_1$:

$$c_1 c_2 = \frac{h}{\cos \beta}$$

$$\sphericalangle d_1 c_2 f = b_1 c_1 a_1 = \alpha$$

$$\sphericalangle d_1 c_2 c_1 = \beta$$

$$\sphericalangle c_1 c_2 f = \sphericalangle d_1 c_2 f - \sphericalangle d_1 c_2 c_1 = \alpha - \beta.$$

$$x = h \,.\, \frac{\sin (\alpha - \beta)}{\cos \beta}.$$

Der Winkel α wird durch das Instrument gemessen; die Dicke der Glasplatte h muss bekannt sein, ebenso ihr Brechungsverhältniss n gegen Luft, dann ist

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}; \quad \sin \beta = \frac{\sin \alpha}{n}.$$

So wird β gefunden und dann sind alle Stücke zur Berechnung von x bekannt. x, die Verschiebung des Bildes, ist gleich der Hälfte der gesuchten Länge des Bildes der Lichtlinie. Nennen wir die Grösse des Bildes E, so ist $E = 2x = 2h \,.\, \frac{\sin (\alpha - \beta)}{\cos \beta}$ . . 1.

Die Werthe von n und h dürften bei den Apparaten, die wir verwenden, durch frühere Untersuchungen bestimmt und daher bekannt sein, so dass wir uns mit ihrer Messung nicht aufzuhalten brauchen. Indessen soll hier doch angegeben werden, wie sie bestimmt werden[1]). Man findet sie durch Ausmessung der Theile eines guten Millimetermassstabes mit dem Instrument. Man stellt den Massstab horizontal in passender Entfernung vor dem Instrument auf, senkrecht gegen die Axe des Fernrohrs gerichtet, und achtet darauf, dass bei der Drehung der Platten die Längskanten des Stabes genau in sich selbst verschoben werden. Am genauesten sind die Doppelbilder so einzustellen, dass die Theilstriche des einen die Zwischenräume des anderen genau halbiren, so dass die gegenseitige Verschiebung der Bilder 0,5 oder 1,5 oder 2,5 u. s. w. Millimeter beträgt. Dann erscheint der Stab wie in halbe Millimeter ein-

[1]) Nach Helmholtz, Physiol. Optik, 2. Aufl., S. 13.

getheilt, und man erkennt sehr sicher, ob die einzelnen Intervalle alle gleich, oder abwechselnd grösser oder kleiner sind. So bekommt man eine Reihe von Werthen des Winkels α, die zu gegebenen Grössen, nämlich den Theilstrichen des Massstabes gehören.

Seien E und E_1 zwei verschieden grosse Theile des Massstabes, α und α_1, sowie β und β_1 die dazu gehörigen Werthe der Winkel, so ergiebt sich aus der vorhin abgeleiteten Formel für x:

$$\frac{E_1}{E} = \frac{\sin(\alpha_1 - \beta_1) \cdot \cos\beta}{\sin(\alpha - \beta) \cdot \cos\beta_1} = \varepsilon,$$

worin ε nur eine kürzere Bezeichnung für das Verhältniss $E_1 : E$ ist. Indem man die Sinus der Differenzen auflöst, und $\sin\beta = \frac{1}{n} \cdot \sin\alpha$ setzt, erhält man:

$$\sin\alpha_1 [n \cdot \cos\beta_1 - \cos\alpha_1] \cdot \cos\beta = \varepsilon \cdot \sin\alpha [n \cdot \cos\beta - \cos\alpha] \cdot \cos\beta_1,$$

$$n = \frac{\sin\alpha_1 \cdot \cos\alpha_1 \cdot \cos\beta - \varepsilon \cdot \sin\alpha \cdot \cos\alpha \cdot \cos\beta_1}{\sin\alpha_1 \cdot \cos\beta_1 \cdot \cos\beta - \varepsilon \cdot \sin\alpha \cdot \cos\beta \cdot \cos\beta_1} \quad \ldots\ldots 1a.$$

Auf der rechten Seite sind α und α_1 bekannt, β und β_1 allerdings nur bei Kenntniss von n zu berechnen. Da aber die beiden letzteren Winkel nicht gross werden können, sind ihre Cosinus nicht sehr weit von 1 unterschieden. Man findet $\cos\beta$ und $\cos\beta_1$ also schon mit sehr geringem Fehler, wenn man von einem angenähert richtigen Werthe von n ausgeht, etwa 1,6. Dann kann man die Gleichung 1a benutzen, um einen genaueren Werth für n zu finden, mit diesem wieder bessere Werthe für $\cos\beta$ und $\cos\beta_1$ u. s. f. Man fährt so fort, so lange die neu gefundenen Werthe des n noch die Werthe von $\cos\beta$ und $\cos\beta_1$ merklich ändern. Gewöhnlich wird die zweite Berechnung von n schon genügen.

Hat man so n bestimmt, so macht man einen weiteren Versuch ebenfalls mit dem Massstab zur Bestimmung von h. Die Gleichung 1 löst man für h auf:

$$h = \frac{E \cdot \cos\beta}{2 \cdot \sin(\alpha - \beta)}$$

und berechnet danach h.

Der Apparat, das **Ophthalmometer von Helmholtz**, besteht aus folgenden Theilen:

1. die beiden Platten mit einer Vorrichtung zum gleichzeitigen Drehen beider in entgegengesetzter Richtung, aber um denselben Betrag;

2. ein Fernrohr, zum Sehen auf kurze Distanzen eingerichtet, zur genauen Beobachtung der Bilder.

Der Apparat (Fig. 96) trägt auf dem Stativ S das Fernrohr F und vorne daran den Kasten K mit den Glasplatten. Diese Theile sind beweglich um die horizontale Axe A, die Gewichte GG dienen zur Aequilibrirung. In dem Kasten K, dessen Seitenwände in der Figur abgeschraubt sind, sieht man die beiden Platten $P_,$ und $P_{,,}$ in Metallrahmen befestigt. Ihre Drehungsaxen tragen:

1. ausserhalb des Kastens Scheiben d_1 und d_2, deren cylindrischer Umfang in Winkelgrade getheilt ist; bei a_1 und a_2 ist je

ein Nonius angebracht, mittels dessen Zehntel eines Grades abgelesen werden können;

2. innerhalb des Kastens Zahnräder, die durch Triebe an den Axen b_1 und b_2 bewegt werden können. Jede dieser Axen trägt ausserdem in ihrer Mitte noch einen Trieb. Die Triebe beider Axen in der Mitte greifen in einander, so dass dadurch die gleichzeitige Drehung beider, aber in entgegengesetztem Sinne bewirkt wird. Durch Drehen z. B. an dem Knopfe b_2 erhält man Drehung beider Axen b_1 und b_2 und damit auch beider Glasplatten. Die Grössen der

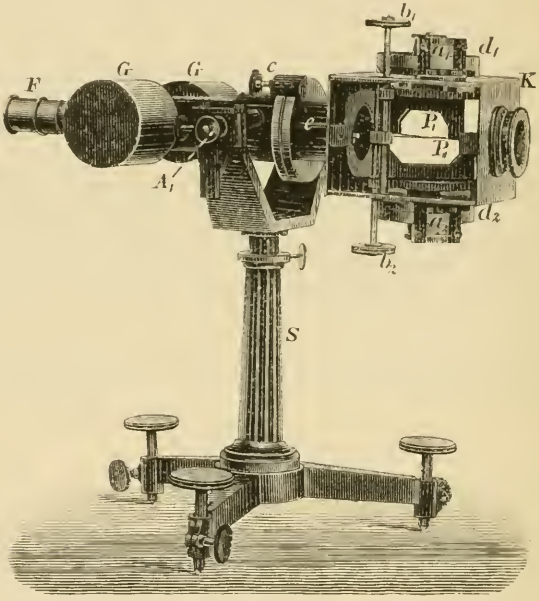


Fig. 96.

Drehungen der zwei Platten eines Instruments differiren gewöhnlich um einige Zehntel eines Grades; zur Rechnung ist das Mittel beider Zahlen zu nehmen.

Man kann den ganzen Kasten K um eine horizontale, durch die Axe des Fernrohrs gehende Axe bewegen. Dadurch wird es ermöglicht, den Radius der Hornhaut für verschiedene Meridiane zu bestimmen. Aus der Gradeintheilung bei e ist die Stellung des Kastens abzulesen. Die Klemmschraube bei c dient dazu, den Kasten in der gewünschten Stellung zu fixiren.

Man wählt der Bequemlichkeit und Sicherheit der Beobachtung wegen gewöhnlich nur kleine Entfernungen des Fernrohrs vom Auge. Das Fernrohr muss daher auf solche einstellbar sein. Da nun aber die gewöhnlichen achromatischen Fernrohrobjective auf parallelstrahlige Bündel berechnet sind, und schlechte Bilder geben, wenn sehr divergente Strahlen darauf fallen, so combinirte Helmholtz in seinem Instrumente zwei solcher Objective zu einem

Objectivsystem. Steht dann das Object ungefähr in der Brennebene des ersten Objectivs, so macht letzteres die Strahlenbündel parallel und das zweite sammelt sie in seiner Brennebene. Gilt es auf weite Entfernungen einzustellen, so wird das eine Objectiv aus dem Instrumente entfernt.

Dieselbe Stellung der Doppelbilder, die bei einer Drehung um α Grade stattfindet, tritt auch ein bei einer Drehung um $-\alpha$ (die Platten werden umgekehrt gedreht, als das erste Mal), um $180^0 - \alpha$ und um $\alpha - 180^0$. Um Fehler der Theilung und des Parallelismus der Glasplatten zu eliminiren, ist es rathsam, bei diesen vier Stellungen jede Messung zu wiederholen, und aus den vier gefundenen Zahlen das Mittel zu nehmen.

Einer der wichtigsten Vortheile des Ophthalmometers ist, dass die Grösse der Verschiebung der Bilder unabhängig ist von der Entfernung des Apparates vom Auge. Man braucht also letztere nicht zu kennen, um die Messungen auszuführen.

Die Linien, die das Instrument zu messen gestattet, dürfen nicht grösser als 4 mm sein.

Um eine grosse Genauigkeit zu erreichen, kommt viel darauf an, dass man die Orte, deren Entfernung zu messen ist, passend durch Erleuchtung markirt. Sehr genau ist namentlich die Breite eines geraden hellen Streifens mit parallelen Rändern auf dunklem, oder eines eben solchen dunklen auf hellem Grunde zu messen. Wenn man die beiden Doppelbilder eines solchen Streifens zur Berührung bringt, zeichnet sich die kleinste Entfernung oder das kleinste Uebereinandergreifen der Bilder durch eine feine schwarze oder helle Linie ab, für deren Wahrnehmung das Auge sehr empfindlich ist; bei genauer Berührung verschwindet die Grenze beider Bilder fast ganz. Oder man kann auch den einen Ort durch einen feinen hellen Punkt, den anderen durch zwei solche einander sehr nahe stehende markiren, und nun das Bild des ersten genau in die Mitte zwischen die zwei anderen einstellen [1]).

Versuchsanordnung zur Messung der Hornhautkrümmung. „Der Beobachtete sitzt an einem Tische; die Lage seines Auges ist so weit als nöthig dadurch gesichert, dass er durch eine Oeffnung von etwa 1 Zoll Durchmesser des vor ihm stehenden Pappschirms ss (Fig. 97) zu blicken angewiesen ist. Das beobachtete Auge ist in der Figur mit O bezeichnet. 6 bis 8 Fuss davon entfernt, und etwa 1 Zoll niedriger als das Auge, ist ein in Centimeter getheilter Massstab

[1]) Helmholtz, Physiol. Optik, 2. Aufl., S. 14.

AB horizontal angebracht. Den Fusspunkt C des von O auf AB gefällten Lothes ermittelt man leicht dadurch hinreichend genau, dass man an die hintere Seite des Massstabes einen Glasspiegel anlegt, dessen Ebene dabei also der Linie AB parallel wird und bemerkt, über welchem Theilstriche C des Massstabes das Auge O sich selbst gespiegelt sieht. Nun misst man von C aus nach beiden Seiten hin zwei gleiche Entfernungen CE und CF ab, jede ungefähr gleich $\frac{1}{4}$ OC. und bringt an der Vorderseite des Massstabes

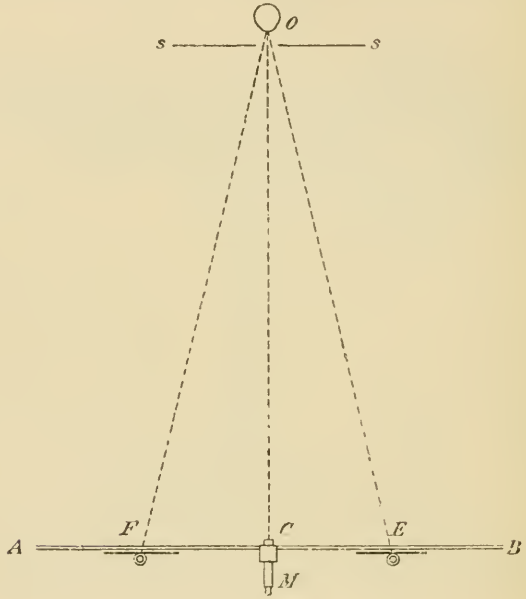


Fig. 97.

Pappschirme an, von denen der eine eine runde Oeffnung, der andere zwei solche über einander enthält. Die beiden durch die Mittelpunkte dieser Oeffnungen gehenden Verticallinien müssen den Theilstrichen E und F entsprechen. Hinter den Schirmen werden Lampen angebracht, deren Licht durch die Oeffnungen auf das Auge O fällt. Die Linie EF, deren eines Ende somit durch einen lichten Punkt, das andere durch zwei bezeichnet wird, ist das Object, dessen Spiegelbild in der Hornhaut gemessen werden soll. Um nun noch die Stellung des Ophthalmometers M zu bestimmen, bringt man an den Theilstrich C einen durch ein Gewicht gespannten Faden, visirt an diesem vorbei nach der Mitte der Oeffnung des Schirmes S,

durch welche das Auge O sieht, und lässt, so dass sie vom Faden gedeckt wird, auf der Tischplatte eine Linie ziehen, auf der der Mittelpunkt des Fusses des Ophthalmometers sich befinden muss. Hat man das Ophthalmometer fest aufgestellt, auf das Auge O gerichtet und für dasselbe eingestellt, so bemerkt man jede Verschiebung des Auges senkrecht gegen die Axe des Fernrohrs daran, dass es im Gesichtsfelde die Mitte des Fadenkreuzes verlässt, und kann seine Stellung verbessern lassen. Ausserdem kann sich das Auge auch nicht viel in der Richtung der Gesichtslinie des Beobachters nähern oder entfernen, ohne dass sein Bild undeutlich wird. So ist die Stellung des Auges bis auf wenige Linien gesichert, und zugleich lässt sich die Stellung, die es hatte, nach beendeter Beobachtung leicht ermitteln, indem man irgend einen Körper aufstellt, der in der Mitte des Gesichtsfeldes des Fernrohrs deutlich erscheint. Ein solcher muss alsdann auch an dem früheren Orte des Auges stehen, und von ihm aus können die Entfernungen des Auges von der Skala und anderen Punkten mit Bequemlichkeit abgemessen werden“ [1]).

Die Richtung des beobachteten Auges kann gesichert werden, wenn man ihm einen bestimmten Gesichtspunkt anweist, etwa ein in der vorderen Oeffnung des Instruments angebrachtes weisses Fadenkreuz. Nun führt man die Bestimmung mit dem Apparat in der beschriebenen Weise aus.

Einfacher ist es, wenn man zur Erzeugung des Hornhautbildes die lichte Breite eines Fensters benutzt. Man stellt das beobachtete Auge und die Axe des Ophthalmometers in einer auf der Mitte der Fensterbreite zur Ebene des Fensters senkrechten Linie auf und in gleicher Höhe mit der Fensterbreite, die benutzt werden soll, das beobachtete Auge ferner etwa 3 Mal so weit vom Fenster entfernt, als die lichte Breite gross ist. Alles weitere wird aus dem vorhin über die Aufstellung Gesagten verständlich.

Die bisher beschriebene Methode der Bestimmung trifft natürlich nur für den Radius des horizontalen Meridians der Hornhautmitte zu. Es ist aber leicht zu ersehen, wie das Instrument auch zur Messung anderer Meridiane und peripherer Theile der Hornhaut benutzt werden kann.

---

[1]) Helmholtz, Physiol. Optik, 2. Aufl., S. 15—16.

XXIX. Kapitel.

Sanson-Purkinje'sche Bilder und deren Veränderung bei der Accommodation.

Das Arbeitszimmer muss vollständig verdunkelt werden können. Man wähle für das zu beobachtende Auge A einen möglichst weit von ihm gelegenen Fixationspunkt (f, Fig. 98) und stelle als näheren eine Nadelspitze n hin. Das beobachtete Auge wird in eine solche Stellung gebracht, dass die Nadelspitze ihm den ferneren Fixationspunkt genau deckt; A, n und f müssen in einer geraden Linie, der

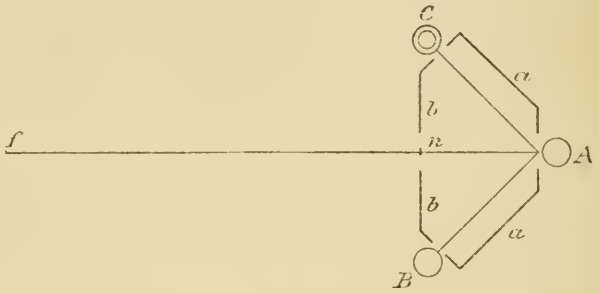


Fig. 98.

Gesichtslinie, liegen. Eine grosse und helle Lampenflamme C stellt man seitwärts von der Gesichtslinie in gleicher Höhe mit dem Auge A und wenige Decimeter von ihm entfernt auf. Ausser dieser darf sich in dem verdunkelten Zimmer kein grösserer heller Gegenstand vor dem Auge A befinden, damit alle störenden Hornhautreflexe vermieden werden. Der Beobachter bringt nun sein Auge B in der für ihn passenden Sehweite in gleiche Höhe mit dem beobachteten Auge und blickt in eine Richtung hinein, die mit dessen Gesichtslinie ungefähr denselben Winkel bildet, wie die Richtung von der Flamme zum beobachteten Auge. Der Winkel betrage etwa 45°. Wenn das Auge A den Punkt f fixirt, sieht man ein Bild, wie Fig. 99. a ist das von der Hornhautfläche gelieferte Spiegelbild, b, das von der vorderen Linsenfläche gelieferte, ist ein aufrechtes Bild der Lampenflamme, etwas grösser als a, aber meist so verwaschen, dass man die Gestalt der Flamme nicht genau erkennen kann. Es liegt scheinbar 8—12 mm hinter der Pupille. c, das

von der hinteren Linsenfläche — als einem Hohlspiegel — gelieferte Bild, ist umgekehrt und viel kleiner, als das Hornhautbild, erscheint daher als ein helles, ziemlich gut begrenztes Pünktchen. Sein scheinbarer Ort ist nahe der hinteren Fläche der Pupille etwa 1 mm von ihr entfernt.

Weist man nun die Versuchsperson an, den Punkt n zu fixiren, so sieht man, dass das Bild b kleiner wird und sich dem Hornhautbilde nähert.

Da ein Convexspiegel ceteris paribus desto kleinere Spiegelbilder liefert, je stärker er gekrümmt ist, so folgt aus dieser Be-

Fig. 99.

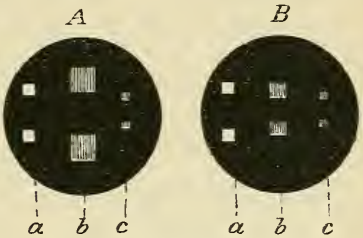


Fig. 100.

obachtung, dass die vordere Fläche der Linse beim Sehen in die Nähe sich stärker wölbt.

Auch das Spiegelbildchen der hinteren Linsenfläche wird etwas kleiner, das ist aber ohne besondere Hilfsmittel schwer zu sehen.
Siehe darüber, sowie über Messung der Veränderung von b: Helmholtz, Physiol. Optik.

Besser noch kann man die Veränderung der Spiegelbilder der vorderen Linsenfläche beobachten, wenn man in dem Versuche statt der Flamme einen Schirm mit zwei senkrecht über einander stehenden Oeffnungen anwendet, die durch eine dahinter stehende Flamme hell leuchtend gemacht sind. Man erhält Bilder, wie Fig. 100 A und B, A für den Blick in die Ferne, B für den in die Nähe, zeigen. Die nun entworfenen beiden Spiegelbilder der vorderen Linsenfläche (b) nähern sich einander und dem Hornhautbild, wenn das Auge in die Nähe sieht.

Um diesen Versuch leichter anstellen zu können, kann man sich des von Helmholtz angegebenen **Phakoskops** bedienen. Dasselbe besteht aus einem hohlen Kasten von der Gestalt eines dreiseitigen Prismas von geringer Höhe, dessen Kanten abgestumpft sind (Fig. 101). An den drei stumpfen Kanten befinden sich Löcher,

eins für das beobachtete Auge (auf der Seite bei A), eins für das beobachtende bei B und eins für die Lichtquelle bei C. An der Seite C können auch statt eines Loches zwei Löcher (für den Versuch Fig. 100) angebracht sein, in denen sich Prismen befinden, die es gestatten, dass beide Löcher gleichmässig von einer Flamme aus hell erleuchtet erscheinen. Dem beobachteten Auge gegenüber befindet sich noch ein viertes Loch in der Seitenwand des Kastens, in dem die beim Sehen in die Nähe zu fixirende Nadel n angebracht wird. Die Stellung des Kastens beim Versuch wird schematisch durch die Linien a a b b in Fig. 98 angedeutet.

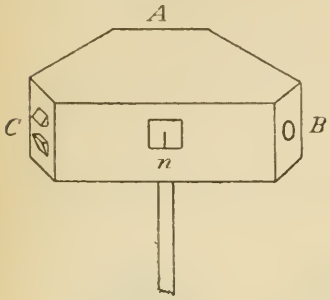


Fig. 101.

Ausser den beschriebenen Veränderungen kann man noch folgende an einem anderen Auge beim Sehen in die Nähe sehen:

1. Verengerung der Pupille.

2. Der Pupillenrand der Iris und die Mitte der vorderen Linsenfläche verschieben sich beim Sehen in die Nähe nach vorn.

Man stellt sich so auf, dass man die Hornhaut der Versuchsperson von der Seite und etwas von hinten sieht, und dass man die schwarze Pupille des in die Ferne sehenden Auges etwa noch zur Hälfte vor dem Hornhautrande der Sklera hervorragen sieht. Nun lasse man in die Nähe sehen: das schwarze Oval der Pupille und ein Theil des dem Beobachter zugekehrten Irisrandes wird vor der Sklera sichtbar.

XXX. Kapitel.

Bestimmung der Accommodationsbreite und -kraft. Optometer.

Zur Einleitung für die jetzt anzustellenden Versuche sei an folgende Sätze der physiologischen Optik erinnert.

1. Bedingung des deutlichen Sehens ist: dass ein umgekehrtes reelles Bild der Gegenstände, die deutlich gesehen werden sollen, auf der Netzhaut entworfen wird.

2. Beim normalen, ruhenden Auge entsteht ein Bild auf der Retina von den Gegenständen in unendlicher Entfernung (oder doch in so grosser Entfernung, dass sie für die in Betracht kommenden Verhältnisse als unendlich angesehen werden kann) oder:

Parallel einfallende Strahlen werden in einem Punkte auf der Retina vereinigt, oder:

Der **Fernpunkt** des normalen Auges liegt in unendlicher Entfernung von demselben.

3. Von näheren Gegenständen liegt beim normalen ruhenden Auge das Bild hinter der Retina. Damit von diesen ein Bild auf der Retina entsteht, muss die Brechkraft des optischen Systems des Auges verstärkt werden.

Das geschieht durch die Accommodation, bei der die Linse stärker gekrümmt wird (siehe die Versuche im vorigen Kapitel). Wir erzielen so denselben Effect, als ob wir eine entsprechende Convexlinse dem optischen System des Auges hinzufügen.

4. Selbstverständlich ist die Verstärkung der Brechkraft durch die Accommodation eine beschränkte. Als **Nahepunkt** bezeichnen wir denjenigen Punkt, von dem ein Bild auf der Retina entworfen wird, wenn das Auge aufs stärkste accommodirt.

5. **Accommodationsbreite** ist die Entfernung des Fernpunkts vom Nahepunkt.

Die **Accommodationskraft** wird gemessen und angegeben als die Convexlinse von solcher Brechkraft, dass sie, dem optischen System des ruhenden Auges hinzugefügt, denselben Effect erzielt, wie die stärkste mögliche Accommodation.

Die Accommodationskraft wird berechnet als der reciproke Werth des Nahepunktes minus dem reciproken Werth des Fernpunktes.

Ist z. B. $F = \infty$, $N = 0{,}1$ m, so ist $A = \frac{1}{0{,}1} - \frac{1}{\infty} = 10$ D

(nach dem neuen System der Linsenbezeichnung).

Anmerkung: Beim alten (Zoll-) System ist die Einheit eine Linse, deren Brennweite 1 Zoll gross ist. Die Brechkraft der Linse wird durch einen Bruch angegeben, dessen Zähler 1 ist, dessen Nenner die Brennweite angiebt, z. B. $\frac{1}{20}$ ist die Linse von 20 Zoll Brennweite.

Bei dem neuen (Meter-) System ist die Einheit 1 Dioptrie, d. i. die Brechkraft einer Linse, deren Brennweite 1 m beträgt, z. B. eine Linse von 10 Dioptrien ist eine solche, deren Brennweite $\frac{1}{10}$ m beträgt.

Zur Umrechnung aus Zollmass in Dioptriemass und umgekehrt setzt man 1 m = 40 Zoll. Man rechnet aus dem Zollmass in Dioptriemass um, indem man die Zahl mit 40 multiplicirt, aus Dioptriemass in Zollmass, indem man mit 40 dividirt.

Z. B. Linse $\frac{1}{20}$ (Zollmass) $= \frac{40}{20} = 2$ Dioptr.

Linse von 10 Dioptr. $= \frac{10}{40} = \frac{1}{4}$ (Zollmass).

6. Beim kurzsichtigen (myopen) Auge liegt die Retina weiter entfernt von der hinteren Linsenfläche, als beim normalen, das Auge ist zu lang. Bilder von Gegenständen in unendlicher Entfernung liegen hier beim ruhenden Auge vor der Retina; damit sie gesehen werden können, muss dem Auge eine Concavlinse vorgesetzt werden. Das ruhende myope Auge vereinigt auf der Retina nur Strahlen, die divergent ins Auge einfallen.

7. Beim weitsichtigen (hypermetropen) Auge liegt die Retina näher an der hinteren Linsenfläche, als beim normalen, das Auge ist zu kurz. Bilder von Gegenständen in unendlicher Entfernung liegen hier beim ruhenden Auge hinter der Retina. Damit sie gesehen werden können, muss dem Auge ein Convexglas vorgesetzt werden, das Auge in Ruhe vereinigt also auf der Retina nur Strahlen, die convergent ins Auge fallen. Der Fernpunkt liegt hier jenseits der unendlichen Entfernung, d. h. er existirt nicht als objectiver Lichtpunkt, weil nicht von einem objectiven Lichtpunkte aus convergente Strahlen ausgehen. Man setzt ihn daher, um mit ihm rechnen zu können, negativ, und misst ihn durch die Brennweite derjenigen Convexlinse, die dem Auge vorgesetzt werden muss, um die Refractionsanomalie zu corrigiren.

Wenn z. B. eine Linse von 5 Dioptrien dazu nöthig ist, so ist der Fernpunkt $-\frac{1}{5}$ m.

Das, was uns jetzt beschäftigen soll, ist die **Bestimmung von Fern- und Nahepunkt und der Accommodationskraft** bei verschiedenen Augen. Vorausgesetzt wird bei diesen Versuchen, dass die Augen, abgesehen von etwaigen Refractionsanomalien (Kurzsichtigkeit und Weitsichtigkeit), normal und gesund sind, vor allem normale Sehschärfe haben.

Zu den Versuchen verwenden wir besondere Apparate, die sogenannten **Optometer**.

1. Optometer von Scheiner.

Der Scheiner'sche Versuch. Man sticht in ein Kartenblatt mit einer Nadel zwei feine Löchelchen neben einander ein. Der Abstand beider Löcher von einander muss kleiner sein, als der Durchmesser der Pupille, was sich leicht schätzungsweise machen lässt. Dann hält man die Karte so vor ein Auge, dass man durch beide Löcher gleichzeitig hindurch sehen kann, und stellt dem Auge

gegenüber einen leuchtenden Punkt, etwa einen kleinen Schirm mit einem kleinen Loch, hinter dem eine Flamme aufgestellt ist oder eine Nadelspitze auf. Fixirt man den Lichtpunkt oder die Spitze, so sieht man ihn durch beide Löcher einfach, fixirt man aber irgend einen Punkt der vor oder hinter dem Lichtpunkt resp. der Nadelspitze liegt, so sieht man den Lichtpunkt doppelt.

Die Ursache dieser Erscheinung liegt in Folgendem: Wenn man einen Punkt fixirt, so wird das Auge so eingestellt, dass alle

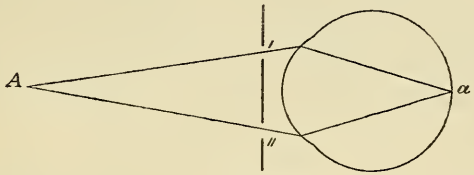


Fig. 102.

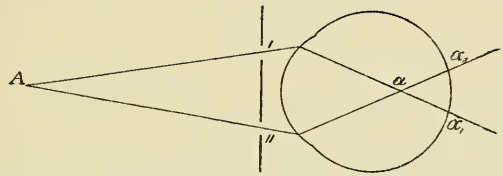


Fig. 103.

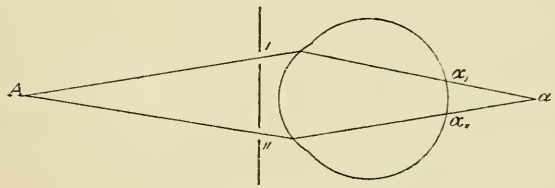


Fig. 104.

von dem Punkte ausgehenden Strahlen sich in einem Bildpunkt auf der Netzhaut vereinigen. Daran wird nichts geändert, wenn in unserem Versuche ein Theil der Strahlen durch das Kartenblatt verhindert wird, ins Auge einzutreten. Man erhält auf der Retina nur einen Bildpunkt und sieht deshalb auch nur einen Punkt. Siehe die schematische Darstellung Fig. 102, wo A der Objectpunkt, α der Bildpunkt ist.

Wenn wir den Punkt nicht fixiren, so fällt sein Bild entweder vor (α Fig. 103) oder hinter (α Fig. 104) die Retina, ersteres, wenn wir einen näheren, letzteres, wenn wir einen entfernteren Punkt fixiren. Auf der Retina entsteht, falls wir ohne das Kartenblatt

sehen, in beiden Fällen nicht ein Punkt, sondern ein Kreis, ein sogenannter **Zerstreuungskreis**. Schalten wir das Kartenblatt ein, so wird ein grosser Theil der Strahlen, die den Zerstreuungskreis bildeten, verhindert, ins Auge einzutreten. Es treten nur zwei kleine Strahlenbündel durch die Löcher ins Auge ein, die die Retina an zwei verschiedenen Stellen treffen ($\alpha_,$ und $\alpha_{,,}$ Fig. 103 u. 104). Da also jetzt zwei verschiedene Stellen der Retina beleuchtet sind, so glaubt man zwei Lichtpunkte zu sehen.

Auf diesem Versuche beruht das Princip des Optometers von Scheiner.

Bei dem **Apparat** selbst ist an der Stelle des leuchtenden Punktes eine leuchtende Linie gesetzt, an Stelle der Löchelchen

Fig. 105.

zwei enge Spalten in einem Schirm, deren Richtung der leuchtenden Linie parallel ist.

Ein Rohr K_1 (Fig. 105) kann in einem anderen K_2 mittels Zahn und Trieb wie ein Fernrohrauszug verschoben werden. In dem Boden B_1 von K_1 befindet sich ein feiner senkrechter Spalt, der beleuchtet wird von einer Flamme. In dem Boden B_2 des Rohres K_2 sind die beiden zum ersten parallelen Spalte. Das zu untersuchende Auge befindet sich dicht bei B_2 und sieht in der Pfeilrichtung in den Apparat hinein. Das Auge sieht den Spalt in B_1 einfach, wenn es auf ihn accommodirt ist, doppelt, wenn es nicht auf ihn accommodirt ist. Es kann nun nicht auf ihn accommodiren und muss ihn daher doppelt sehen, wenn er diesseits des Nahepunkts oder jenseits des Fernpunkts steht. Wenn man also Nahepunkt und Fernpunkt bestimmen will, so giebt man dem zu Untersuchenden auf, den Spalt in B_1 möglichst immer zu fixiren, und schiebt ihn einmal so nahe, dass er eben noch nicht doppelt gesehen wird, die geringste weitere Annäherung aber Doppelbilder bewirken würde, und das zweite Mal so weit ab, dass er auch eben noch nicht doppelt gesehen wird, und misst die Entfernungen beider Stellungen vom Auge.

Wenn es nun gilt, Fernpunkte, die in grosser Entfernung liegen, z. B. für das normale Auge zu bestimmen, so müsste das

Rohr eine unbequeme Länge haben, negative Fernpunkte (für das weitsichtige Auge) würde man gar nicht bestimmen können. Um das zu können, macht man das zu untersuchende Auge künstlich zu einem kurzsichtigen, indem man dicht vor den am Auge befindlichen Schirm B_2 eine Convexlinse C bringt. Man reicht für die meisten Fälle mit einer solchen von $^1/_6$ (nach dem Zollmass) aus.

Die Lage des wirklichen Fern- resp. Nahepunktes entspricht in diesem Falle dem Punkt, von dem die Strahlen nach der Brechung durch die Convexlinse ausgehen, resp. auszugehen scheinen, d. i. dem Bildpunkt nach der Brechung. Derselbe wird so berechnet:

Ist p die Brennweite der Convexlinse, a der Objectpunkt, α der Bildpunkt, so ist

$$\frac{1}{\alpha} + \frac{1}{a} = \frac{1}{p} \text{ oder } \alpha = \frac{1}{\left(\frac{1}{p} - \frac{1}{a}\right)}.$$

Zu berücksichtigen ist, dass bei dieser für die Convexlinse geltenden Formel α negativ wird, wenn α auf derselben Seite der Linse wie a liegt, positiv, wenn α auf der anderen Seite liegt. Für die Bezeichnung unserer gesuchten wirklichen Fern- und Nahepunkte hat man die Vorzeichen umzukehren.

Auf K_1 ist ein Massstab angebracht; der Rand von K_2 giebt an dem Massstabe die Entfernung der Lichtlinie vom Auge an — um die Umrechnung in jedem Falle unnöthig zu machen, sind an der Skala gleich die wirklichen Fern- und Nahepunkte angegeben.

Man bestimme mit diesem Instrument an mehreren Augen Fern- und Nahepunkt und berechne daraus in der angegebenen Weise die Accommodationskraft.

2. Optometer von v. Graefe.

Der Apparat besteht gerade so wie der vorige, aus zwei in einander durch Zahn und Trieb verschieblichen Röhren K_1 und K_2 (in Fig. 106 im Durchschnitt von oben gesehen). Der Boden der einen bildet eine Convexlinse L_1, der der anderen eine Concavlinse L_2. An die Stelle von L_2 kann je nach Wunsch eine von den verschieden starken Concavlinsen eingesetzt werden, die in einem Metallrähmchen M so neben einander eingesetzt sind, dass ihre Auswechslung durch einfache Verschiebung des Metallrähmchens leicht bewirkt wird. Die mittelste (1) der drei Linsen ist die schwächste, die rechte (2) stärker, die linke (3) die stärkste. Das zu untersuchende Auge sieht in der Pfeilrichtung in den Apparat

hinein, der Apparat ist gerichtet auf einen weit entfernten Gegenstand, etwa den Blitzableiter oder das Ziegeldach eines entfernten Hauses.

Ist die Concavlinse 2 eingeschaltet, und steht L_1 so weit entfernt von L_2, wie der Apparat es gestattet, so treten die von einem Lichtpunkt eines unendlich weit entfernten Objects kommenden Strahlen parallel aus dem Linsensystem aus und ins zu untersuchende Auge ein, so dass also das normale ruhende Auge nun den Gegenstand deutlich sieht. Es fällt jetzt nämlich der eine Brennpunkt von L_1 mit dem entsprechenden Brennpunkt der Linse 2 zusammen. Nähert man nun L_1 gegen L_2, so werden die Strahlen, die aus der Concavlinse austreten, divergent, und zwar so, als ob

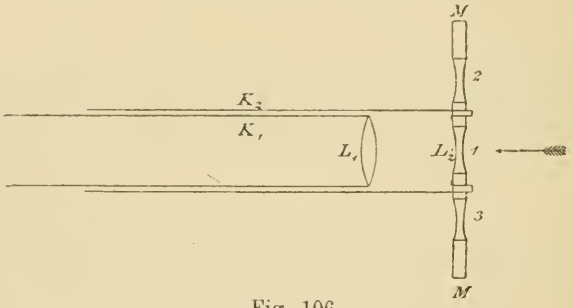


Fig. 106.

sie von einem näheren Punkte kämen; das Object scheint dem Auge daher näher zu liegen. Bei der grössten möglichen Annäherung von L_1 an L_2 ist die Divergenz der aus der Concavlinse austretenden Strahlen so gross, als ob sie von einem Punkte in etwa 6 Zoll Entfernung vom Auge kämen. Wenn die Strahlen divergent ins Auge einfallen, muss das Auge also accommodiren, um das Object deutlich zu sehen.

Die Concavlinse 3 ist stärker als 2, daher macht sie die Strahlen noch mehr divergent als 2. Steht bei Einstellung der Concavlinse 3 in L_2 die Linse L_1 möglichst weit entfernt von 3, so sind die Strahlen etwa gerade so divergent, wie bei kleinster Entfernung beider Linsen für die Concavlinse 2. Steht dagegen L_1 möglichst nahe an L_2, so ist die Divergenz der austretenden Strahlen so gross, als ob sie von einem Punkt in $2^3/_4$ Zoll Entfernung vom Auge kämen; das Auge muss also noch stärker accommodiren.

Umgekehrt ist die Concavlinse 1 schwächer als 2, sie macht daher die Strahlen weniger divergent als 1. Weniger divergent

als parallel ist „convergent". Die Strahlen kommen parallel aus 1 heraus, wenn L_1 möglichst nahe an L_2 steht, sie werden um so stärker convergent, je weiter man L_1 von L_2 entfernt und sind bei der grössten Entfernung der Linsen von einander so convergent, dass sie sich in einem Punkte $2^1/_2$ Zoll weit entfernt von der Linse 1 schneiden. Man sieht also, dass man je nach Bedarf parallele, schwach divergente, stark divergente, oder convergente Strahlen von demselben Object mit dem Apparat erhalten kann.

Für jede der drei Concavlinsen ist eine Skala da, die die Entfernung des Punktes vom Auge angiebt, von dem die Strahlen auszugehen scheinen. Für convergentes Licht ist dieser Punkt negativ zu setzen.

Zur Bestimmung von Fern- und Nahepunkt verfahre man nun so: Man stellt erst Concavlinse 1 ein und L_1 möglichst weit von L_2. Dann lässt man das zu untersuchende Auge nach dem Object hinsehen. Es wird das Object nicht deutlich sehen. Nun nähert man L_1 immer mehr an L_2 bis zur nächsten Stellung, dann wird Concavlinse 2 eingesetzt und L_1 wieder ganz weit von L_2 entfernt und von da an wieder genähert, während der zu Untersuchende immer nach dem Object hinzusehen und anzugeben hat, wenn er das Object zum ersten Male scharf sieht. Man liest dann die Stellung an der Skala ab: so erhält man den Fernpunkt. Dasselbe geschieht mit der Concavlinse 3. Der zu Untersuchende hat schliesslich anzugeben, wenn er wieder trotz angestrengtester Accommodation das Object undeutlich sieht. Dann hat man den Nahepunkt an der Skala abzulesen. Die Accommodationskraft wird wie früher angegeben berechnet.

Uebrigens achte man bei dem Versuche darauf, dass der zu Untersuchende das Auge immer dicht an die Linse hält. Wenn er es beim Versuche etwa weiter entfernt, so ist das gleichbedeutend einer Veränderung der Lage des zu fixirenden Punktes; das macht also die Bestimmung ungenau.

In der Augenheilkunde geht die Optometrie mit der Prüfung der Sehschärfe Hand in Hand. Man macht zur Bestimmung der Refractionsanomalien durch Ausprobiren diejenige Linse ausfindig, die die Anomalie gerade corrigirt. Dazu ist ein Brillenkasten erforderlich.

Auch kann man Refractionsanomalien mit Hilfe des Augenspiegels objectiv nachweisen. Betreffs dessen muss auf die Augenspiegelübungen im klinischen Unterricht verwiesen werden.

XXXI. Kapitel.

Augenleuchten.

Die Pupille des normalen Menschen und Kaninchens sieht schwarz aus, die eines albinotischen dagegen roth, — das Auge des letzteren leuchtet.

Ueber die Ursache dieser Verschiedenheiten giebt folgender Versuch Aufschluss:

Man verschaffe sich ein albinotisches Kaninchen [1]). In einen kleinen Schirm aus dünner schwarzer Pappe schneidet man ein kreisrundes Loch ein, das etwa gerade so gross ist, wie die Pupille des Kaninchens. Man hält den Kopf des Kaninchens so, dass das Auge dem Licht zugekehrt ist, und hält dann den Schirm so vor das Auge, dass der Rand des Loches ungefähr mit dem Rand der Pupille zusammenfällt, dass alles Licht von dem Auge abgehalten wird, mit Ausnahme dessen, das durch die Pupille hinein gelangen kann. Nun sieht die Pupille des Albino schwarz aus.

Das beweist: Die Schwärze der Pupille rührt nicht etwa daher, dass das ins Auge einfallende Licht von dem Pigment des Augenhintergrundes absorbirt wird, dass also der Augenhintergrund schwarz aussieht, sondern davon, dass nur Licht durch die Pupille ins Auge ein- resp. wieder austreten kann, während Iris und der angrenzende Theil der Chorioidea in Folge ihres Pigmentgehaltes kein Licht durchlassen.

Durch die Brechung im Auge ist es bedingt, dass das Licht vom Augenhintergrund wieder dahin reflectirt wird, wo es herkommt, nämlich zum leuchtenden Punkt. Da wir nun kein Licht von unserem Auge aussenden, so fällt auch keins aus dem beobachteten Auge in unseres zurück — wir sehen also die Pupille schwarz, weil wir den Augenhintergrund mit unserem Körper nicht erleuchten.

Anmerkung: Die Lehre vom Augenspiegel wird hier nicht abgehandelt, weil der Studirende in klinischen Augenspiegelcursen damit besser vertraut gemacht wird, als es in physiologischen Cursen geschehen kann.

[1]) Siehe Anmerkung S. 178.

XXXII. Kapitel.

Pupillenreflex.

Man stellt die Versuchsperson mit dem Gesicht einem hellen Fenster zugewandt auf und lässt sie ins Helle sehen. Das eine Auge hält man mit der Hand bedeckt und beobachtet die Weite der Pupille des anderen Auges. Dann nimmt man plötzlich die Hand von dem einen Auge weg, so dass jetzt auch hier Licht einfällt. Die Pupille des beobachteten Auges wird danach enger.

XXXIII. Kapitel.

Sehroth.

Literatur: Kühne in Hermann's Handbuch der Physiol., Bd. III.

Das Sehroth, Sehpurpur, Rhodopsin kommt in den Stäbchen fast aller Wirbelthiere vor, auch beim Menschen. Es wird durch Licht gebleicht. Die Bleichung geschieht nur an den Stellen der Netzhaut, die vom Lichte getroffen worden sind. Wenn also das Auge unbeweglich so aufgestellt wird, dass scharfe Bilder auf seiner Netzhaut entstehen, so erhält man eine Art photographischer Bilder auf derselben, **Optogramme**, wie Kühne sie genannt hat.

1. Darstellung von Optogrammen des Kaninchenauges.

Der Versuch wird im Dunkelzimmer vorbereitet. Das Zimmer darf nur von einer Natronlichtflamme erleuchtet werden. Es wird dazu die Flamme eines Bunsen'schen Brenners mit zwei an sehr feine Platindrähte angeschmolzenen Sodaperlen, die 15—30 Minuten lang aushalten, versehen und etwa $\frac{1}{2}$ m von dem Präparationsorte entfernt aufgestellt. Man halte sich mehrere solcher Sodaperlen bereit.

Ein Kaninchen [1]), das vorher schon einige Stunden im Dunkel-

[1]) Die Leiche verwende man zu anatomischen Präparationen.

zimmer war, wird durch Genickschlag getödtet. Gleich nach dem Tode des Thieres wird das Auge vorsichtig herausgeschnitten. Man merke sich dabei an irgend einem Zeichen die Lage des horizontalen Meridians.

Auf dem Grunde eines cylindrischen, innen geschwärzten Kastens von 50 cm Durchmesser und 25 cm Höhe wird das Auge aufgestellt mit der Hornhaut nach oben. Das Auge muss auf dem Grunde des Kastens feststehen; man legt es deshalb in ein passend ausgehöhltes Lager. Am einfachsten bedient man sich dazu eines kleinen Glastrichters, in den man das Auge legt, und dessen Stiel in ein in den Boden des Kastens gebohrtes Loch festgesteckt wird. Der Kasten ist oben bedeckt mit einer matten Glastafel, auf der 4—5 cm breite und ebenso weit von einander entfernte Streifen schwarzen Papiers aufgeklebt sind. Die Richtung der Streifen ist so gewählt, dass sie senkrecht stehen auf dem horizontalen Meridian des Auges. Man bedeckt nun die Glasplatte mit einem Tuch, trägt den Kasten ins Freie, stellt ihn dort fest auf und nimmt das Tuch weg, je nach der Helligkeit 2—7 Minuten lang. Auch kann man den Versuch unter einem guten Oberlicht machen. Dann bedeckt man den Kasten wieder mit dem Tuche und trägt ihn ins Dunkelzimmer zurück. Zur Noth kann man auch ohne den Kasten auskommen: man stellt dann das Auge 1—2 m entfernt von einem Fenster des Dunkelzimmers auf und beleuchtet es durch Erhellen des Fensters.

Nun hat man die Netzhaut zu präpariren, um das Bild sehen zu können. Das geschieht entweder sofort unter Salzwasser, oder nach 24stündigem Liegen des im Aequator halbirten Auges in 4procentiger Kali-Alaunlösung. Das Präparationsverfahren ist folgendes:

Das Auge wird im Aequator halbirt, die hintere Hälfte nach dem Ausstürzen des Glaskörpers in einen tiefen, mit 0,6procentiger NaCl-Lösung gefüllten Teller gebracht, auf dessen Boden eine Bleiplatte liegt. Indem man die hintere Augenhälfte mit dem Opticus gegen das Blei legt und von vorne so mit einem Locheisen gegen die Papilla nervi optici im Augengrunde drückt, dass die Netzhaut ringsum sicher bis zur Uvea durchschnitten wird, trennt man sie von der einzigen Haftstelle; sie ist dann oft leicht mit Hakenpincetten vom Aequator her als flottirendes Häutchen abzulösen.

Die vorherige Behandlung mit Kalialaun bewirkt, dass die Netzhaut sich immer leicht löst.

Die Netzhaut wird nun flottirend oder nach dem Abtrocknen auf die glaçirte convexe Seite eines Porcellanschälchens gespannt, und nach Zulassen von Tageslicht ins Zimmer sofort betrachtet.

Man sieht Folgendes (Fig. 107): Bei a ist die ausgebohrte Papille, bei b b ein weisser Streifen markhaltiger Nervenfasern mit schwach angedeuteten Blutgefässen, darunter ein Streifen von sehr intensiver purpurner Färbung c, die sogenannte Sehleiste. Ferner aber sieht man als Bild des Objects, dem das Auge ausgesetzt war, weisse Streifen auf dem blassrothen Grunde. War gerade die richtige Zeit hindurch exponirt, so ist die Breite der hellen Streifen gleich der der dunklen, etwa 1,5 mm. Wurde zu lange exponirt, so erscheinen diese kleiner, als jene, so dass die dunklen zuletzt kaum mehr bemerkbare gelbe Linien darstellen.

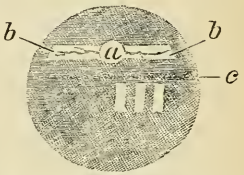


Fig. 107 (nach Kühne). Das Schwarze in der Figur sieht in Wirklichkeit blassroth aus.

2. Optogramme des Froschauges.

Die Darstellung derselben ist schwieriger als beim Kaninchen, weil hier die Retina sich nicht leicht ablösen lässt, ohne dass schwarzes Epithel an ihr haften bleibt, das die Bilder verdeckt, ferner weil oft weisse Stellen in der Netzhaut nicht durch Bleichung, sondern durch Ausreissen und Zurückbleiben der farbigen Stäbchen am Epithel des Augengrundes entstehen. Man überwindet diese Schwierigkeiten am besten, wenn man die curaresirten Frösche erst durch längeres Liegen in Wasser ödematös macht.

Ferner darf man nicht mit zu intensivem Lichte belichten, sondern mit schwachem Lichte 1—2 Stunden lang.

Um die Retina der Frösche aus dem im Aequator halbirten Auge herausziehen zu können, knipst man den Opticusansatz hinten an der Sklera ab.

Im Uebrigen entspricht das Verfahren dem beim Kaninchen angewendeten, nur wird die Entfernung des Auges vom Object kleiner gewählt, als beim Kaninchen (15 cm statt 25 cm bei dem beschriebenen Object).

XXXIV. Kapitel.

Perimeter.

Das Perimeter dient zur Messung der Ausdehnung des Gesichtsfeldes.

Durch Aufstützen des Kinns auf einen Halter wird der Kopf des zu Untersuchenden fixirt; ein Auge ist fest gerichtet auf einen bestimmten Fixirpunkt. Man weise die Versuchsperson an, den Blick nie von dem Fixirpunkt abzuwenden. Das andere Auge wird zugehalten. Eine besondere Vorrichtung, die bei den verschiedenen Apparaten verschieden, aber nach demselben Princip gebaut ist, gestattet es ein helles, dem Auge zugekehrtes Object, etwa eine weisse Kugel oder ein Stück weissen Papiers nach allen Richtungen hin auf einer Kugelfläche zu bewegen, deren Mittelpunkt das zu untersuchende Auge ist. Man muss den Apparat so dem Fenster gegenüber aufstellen, dass das Object gut beleuchtet ist. Jede einzelne Stellung des Objects lässt sich mit Hilfe von Skalen resp. Kreiseintheilungen hinsichtlich des Meridians, in den sie fällt, und hinsichtlich des Winkels, den die Verbindungslinie des Objects und des Auges mit der Fixirlinie bildet, genau bestimmen. Man verschiebe nun das Object, jedesmal vom Fixirpunkte ausgehend, auf einer grossen Zahl von Meridianen nach einander nach beiden Seiten hin so weit, bis die Versuchsperson es nicht mehr sieht, und stellt den Punkt fest, bei dem es eben nicht mehr gesehen wird. Auf diese Weise erhält man die Grenzen des Gesichtsfeldes in verschiedenen Meridianen.

Die erhaltenen Resultate pflegt der Augenarzt aufzuzeichnen in sogenannte Gesichtsfeldschemata: Durch einen Punkt zieht man 12 Linien in gleichen Abständen von einander, die 12 verschiedenen Meridianen entsprechen sollen und trägt von dem Punkte aus auf jeder Linie nach beiden Seiten hin die für den entsprechenden Meridian bei der Perimeterbestimmung erhaltenen Zahlen von Winkelgraden ab. Verbindet man die so erhaltenen peripheren Punkte durch eine Curve, so giebt diese Curve ein anschaulich Bild der Gesichtsfeldausdehnung.

Von den verschiedenen nach diesem Princip gebauten Apparaten seien erwähnt:

1. Das Perimeter von Aubert und Förster. Das Auge des zu Untersuchenden befindet sich im Centrum eines drehbaren Kreis-

bogens. Der Fixirpunkt fällt mit dem Drehpunkt des Bogen zusammen. Der Kreisbogen wird in den Meridian eingestellt, den man prüfen will. Die Verschiebung des Objects auf dem Kreisbogen geschieht durch Drehen an einem Knopfe.

2. **Perimeter von Scherk**, besteht aus einer halben Hohlkugel mit Gradeintheilung, in deren Mittelpunkt sich das zu untersuchende Auge befindet. Das Object ist an einem beweglichen, gebogenen Fischbeinstäbchen befestigt. Man kann hier mit Kreide sofort am Apparat die Gesichtsfeldgrenzen aufzeichnen.

Ausser diesen giebt es noch andere, die aber hier nicht alle beschrieben werden können.

Wenn man mit dem Perimeter Versuche anstellt, so erhält man von dem zu Untersuchenden die Angabe, dass das Object, wenn es etwa 10—20° auswärts vom Fixirpunkt auf dem horizontalen

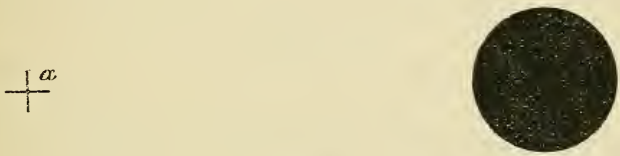


Fig. 108.

Meridian steht, unsichtbar ist, während es wieder sichtbar wird, wenn man es weiter nach auswärts bewegt. Es beruht das darauf, dass hier das Bild des Objects auf die **Eintrittsstelle des Sehnerven** in die Retina fällt, welche **blind** ist. Man kann sich davon noch überzeugen durch folgenden Versuch:

Man schliesse das linke Auge und fixire mit dem rechten das Kreuz (a, Fig. 108) und halte das Buch etwa 25 cm vom Auge entfernt, dann wird der schwarze Kreis unsichtbar. Auch hier fällt das Bild des schwarzen Kreises auf die Eintrittsstelle des Sehnerven.

Mit dem Perimeter stelle man weiter Versuche an, in denen man nicht weisse Objecte benutzt, sondern Stückchen farbigen Papiers, verfahre hier aber so, dass man das Object zunächst so weit peripher aufstellt, dass die Versuchsperson es noch nicht sehen kann, und es nun langsam dem Fixirpunkt zu bewegt. Man lässt die Versuchsperson vorher nicht wissen, was für eine Farbe das Object hat. Am besten benutzt man dazu den äusseren Theil des horizontalen Meridians. Man kann nun feststellen, dass die Versuchsperson, sobald sie das Object erkennt, die Farbe in vielen

Fällen noch nicht richtig angiebt. So wird z. B. bei einem gelbrothen Object erst erklärt, es sehe strohgelb aus, dann bei weiterer Annäherung an den Fixirpunkt orange, und erst zuletzt wird die Farbe richtig erkannt. Ein violettes oder purpurnes Object wird erst für blau erklärt. Das liegt daran, dass die Netzhautperipherie für gewisse Farben farbenblind ist.

XXXV. Kapitel.

Gefässschattenfigur.

In einem dunklen Zimmer, bei gradaus gerichtetem Auge bewege man ein Licht unten und seitlich vom Auge hin und her. Das Gesichtsfeld erscheint dann hell roth und in ihm zeichnen sich schwarze Linien ab, die von einer Stelle ausgehend sich verzweigen. Diese Linien bewegen sich hin und her mit den Bewegungen des Lichtes. Sie werden hervorgerufen durch die Schatten, die die Gefässe an der Innenseite der Retina auf die Schicht werfen, die das Licht percipirt. Hält man das Licht gerade unter das Auge und bewegt es von oben nach unten oder umgekehrt, so bewegt sich auch der Gefässbaum im Gesichtsfelde mit dem Lichte zugleich nach oben und unten. Wird das Licht in einer horizontalen Linie bewegt, so bewegt sich der Gefässbaum umgekehrt.

Näheres über das Zustandekommen dieser Erscheinung, sowie über die Art, wie man mit Hilfe des Gefässschattens die Lage der percipirenden Schicht bestimmen kann, siehe bei:

H. Müller, Ueber die entoptische Wahrnehmung der Netzhautgefässe, insbesondere als Beweismittel für die Lichtperception durch die nach hinten gelegenen Netzhautelemente. Verhandlungen der physikalisch-medicinischen Gesellschaft zu Würzburg 1855, Bd. V, S. 411.

III. Abschnitt.

Physiologie des Kreislaufs.

XXXVI. Kapitel.

Beobachtung der Circulation in den Gefässen mit dem Mikroskop.

Objectträger. Eine Korkplatte, die auf dem Objecttische mit Klammern fixirt werden muss und über der Oeffnung des Tisches kreisförmig durchbohrt ist. Auf den oberen Rand der kreisförmigen Bohrung in der Korkplatte ist ein etwa 5 mm hoher Korkring aufgeklebt.

Object. Curaresirter Frosch. Der Frosch wird auf die Korkplatte gelegt. Man spannt über den Korkring die **Schwimmhaut** eines hinteren Fusses des Frosches und steckt sie mit Stecknadeln fest, — oder man zieht die **Zunge** des Frosches aus dem Maule hervor und spannt sie auf den Korkring fest.

Besonders eignet sich das **Mesenterium** des Frosches zur Beobachtung: Man macht einen 1 cm langen Längsschnitt an der Seite des mittleren Theils des Abdomens, erst durch die Haut, dann durch die Muskelschicht, vermeide aber dabei das Anschneiden grösserer Gefässe, um Blutungen zu verhindern. Am besten operirt man mit einem über einer Flamme glühend gemachten Messer. Nun wird der Dünndarm aus der Schnittöffnung mit Pincette hervorgezogen und auf den Korkring aufgesteckt, so dass das Mesenterium über das Lumen des Ringes zu liegen kommt. Der ganze Frosch muss selbstverständlich von vorne herein so gelegt sein, dass das Mesenterium sich über den Ring ausspannen lässt, ohne gezerrt zu

werden. Den Frosch befestigt man mit Stecknadeln, die man an verschiedenen Theilen durch die Haut in die Korkplatte hineinsticht. Die zu untersuchenden Organe können nun zur Untersuchung bei starker Vergrösserung mit einem Deckglas bedeckt werden.

Auch die Lunge des Frosches ist zur Beobachtung des Kreislaufs zu benutzen. Das geht aber nur leicht mit Hilfe einer besonderen, von Holmgren (Beiträge zur Anatomie und Physiologie, Festgabe für C. Ludwig. Leipzig 1874) beschriebenen Vorrichtung.

Man verwende, wenn möglich, dazu eine frisch eingefangene Rana esculenta. Dem curaresirten Frosch wird durch die Glottis in die Trachea eine Kanüle eingeführt, an der ein Kautschukschlauch befestigt ist, dessen anderes Ende ein mit Hahn verschliessbares Mundstück trägt. Bläst man in das Mundstück bei offenem Hahn, so dehnt sich die Lunge aus und die Ausdehnung bleibt nach Verschluss des Hahns. So kann man den Füllungsgrad der Lunge reguliren.

Zwischen der Kanüle und der Tracheawand darf natürlich keine Luft entweichen. Das wird verhindert durch folgende Einrichtung der Kanüle: An dem in die Trachea einzuführenden Ende hat die Kanüle zwei ringförmige Furchen, zwischen denen ein ungefähr 4 mm breiter Hals sich befindet. Die Wand des Halses besitzt einige seitliche Oeffnungen. Ein Stück Dickdarm eines Frosches wird nun über das Ende der Kanüle gezogen und an beiden Furchen mit Fäden festgebunden. Das zwischen beiden Ligaturen befindliche Stück Darm darf nicht straff gespannt sein. Am Ende der Kanüle wird das hervorstehende Ende des Darmstücks abgeschnitten.

Ist die Kanüle so hergerichtet, so wird sie in die Trachea eingeführt. Man sperrt dazu das Maul des Thieres auf und zieht den Kehlkopf mit einer Pincette hervor, deren eine Spitze in die Stimmritze eingeführt wird. In die Oeffnung der Stimmritze führt man das Kanülenende hinein. Wird in die Kanüle hineingeblasen, so bläht sich der Darm auf, legt sich der Trachealwand an und bildet einen festen Verschluss. Damit die Kanüle nicht abgleitet, wird sie mit einem Faden an der Symphyse des Unterkiefers befestigt.

In der Achselgegend entlang der Grenze von Bauch und Rückenhaut wird ein etwa 1,5 cm langer Einschnitt gemacht, am besten auch hier mit glühendem Messer, um Blutungen zu vermeiden. Zunächst eröffnet man so die Haut, dann die Muskellage.

Man operire vorsichtig, so dass die Lungen nicht verletzt werden. Wenn die Leibeshöhle eröffnet ist und man die Lunge aufbläst, so dringt sie aus der Oeffnung hervor. Man blase aber nicht zu stark, so dass die Lunge nur eben hervortritt.

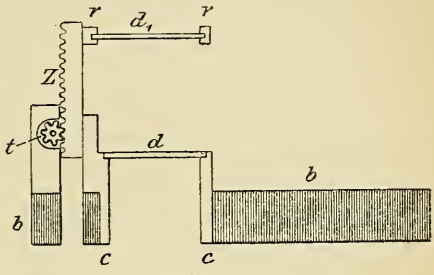


Fig. 109.

Der Frosch wird auf einen ähnlichen Objectträger gelegt, wie die vorhin beschriebenen, so dass die Lunge über die Oeffnung zu liegen kommt. Die Oeffnung ist hier mit folgender Vorrichtung versehen (siehe in Fig. 109 diese Einrichtung im senkrechten Durchschnitt, quer gegen die Längsrichtung des Brettes):

Ein hohler Messingcylinder c c sitzt in dem Loche des Brettes b b, etwas seitlich von der Mitte desselben; sein freier Rand ragt etwa 8—10 mm über die Oberfläche des Objectbrettes. Oben liegt ihm ein Deckgläschen d auf. Seitlich davon befindet sich eine Zahnstange z, die mit Trieb t in verticaler Richtung auf und nieder bewegt werden kann. An ihrem oberen Ende trägt die Zahnstange einen seitlich mit ihr verbundenen, horizontal gestellten Ring (r r), in dem ein Deckgläschen d_1 befestigt ist. Dieses Deckglas steht genau über dem Deckglas d. Durch den Trieb kann also die Entfernung der beiden Deckgläser von einander variirt werden. Zwischen die Deckgläser kommt die Lunge zu liegen. Das obere Glas wird an die convexe Fläche der Lunge leise angedrückt. Dadurch wird die Oberfläche der Lunge abgeflacht und der mikroskopischen Untersuchung besser zugängig. Der Frosch wird auf dem Brette in Bauch- oder Rückenlage aufgelegt. Zum Festhalten dienen einige Stecknadeln, die man durch die Haut in Korke einsticht, die man auf das Brett festkittet. Oder man bindet den Frosch mit Fäden oder Gummibändern an Häkchen fest, die besonders zu diesem Zwecke an dem Brette anzubringen sind.

Durch verschieden starkes Aufblasen der Lunge ist es möglich, die Schnelligkeit der Circulation zu verändern. Ist zu stark aufgeblasen, so steht die Circulation ganz still.

Bei der mikroskopischen Untersuchung der beschriebenen Objecte achte man auf Folgendes:

Bei etwa 100—150facher Vergrösserung beobachtet man: In

den Arterien geht der Blutstrom von den grossen Aesten in die Zweige hinein. Er ist zwar continuirlich, zeigt aber periodische Beschleunigungen entsprechend dem Herzschlag.

In den Venen geht der Strom von den Zweigen in die Stämme hinein; er ist continuirlich ohne periodische Beschleunigung.

In den Arterien und Venen kann man — vorausgesetzt, dass das Herz noch kräftig schlägt und der Blutstrom nirgendwo gehindert ist — wegen der Schnelligkeit der Bewegung die einzelnen Körperchen nicht von einander unterscheiden. Nur am Rande sieht man einzelne rothe und noch mehr weisse Blutkörperchen sich langsamer bewegen. Wir sehen also einen langsameren Randstrom und einen schnelleren axialen Strom. In den Capillaren sind die Blutkörperchen eher von einander zu unterscheiden, da hier der Strom langsamer ist, als in den grösseren Gefässen. Die Körperchen gehen einzeln in die Capillaren hinein, deren Wände sie direct berühren. Kommen sie in eine Capillare, deren Kaliber kleiner ist, als ihr Durchmesser, so erleiden sie mancherlei Gestaltsveränderungen, sie werden durch die Capillaren durchgequetscht, um ihr ursprüngliches Aussehen wieder zu gewinnen, sobald sie an eine Stelle kommen, wo sie frei schwimmen können. Da wo sich eine Capillare in zwei theilt, wird oft ein Körperchen an der Trennungsstelle festgehalten, in beide Zweige hineingedrückt, so dass es auf der trennenden Kante reitet, es erhält dann die Form eines Zwergsacks.

Um die Geschwindigkeit der Bewegung der Blutkörperchen durch die Capillaren zu bestimmen, misst man mit Ocularmikrometer eine bestimmte Strecke einer Capillare und bestimmt mit der Uhr die Zeit, die vergeht vom Eintritt eines Körperchens in diese Strecke bis zum Austritt aus derselben. Mit Hilfe der erhaltenen Zahlen rechnet man aus, durch welche Strecke sich das Körperchen in 1 Secunde bewegen würde.

Die weissen Blutkörperchen, die in den Capillaren und Venen an die Wand gelangen, vollführen amöboide Bewegungen und wandern durch die Gefässwände hindurch. Das ist besonders zu beobachten beim Mesenterium bei langer Versuchsdauer. Es ist das der anatomisch nachweisbare Vorgang bei der Entzündung, die im Mesenterium nach längerer Berührung mit der Luft auftritt.

An dem Lungenpräparat ist noch besonders zu beobachten die Art der Vertheilung der Capillaren in den leicht getrennt von einander wahrzunehmenden Alveolen. Während in Zunge, Schwimmhaut und Mesenterium immer nur vereinzelte Capillaren zu sehen

sind, bilden die Capillaren in den Lungen ein dichtes Netz, das sich zwischen dem die Alveolen begrenzenden und die grösseren Gefässe tragenden Bindegewebe ausbreitet und fast die ganze Alveolenwand ausmacht.

XXXVII. Kapitel.

Froschherz.

Anatomie.

Freipräpariren des Herzens. Man tötet einen Frosch dadurch, dass man eine Nadel in die Schädelhöhle und in den Wirbelcanal einsticht, so dass das Centralnervensystem zerstört wird, legt den

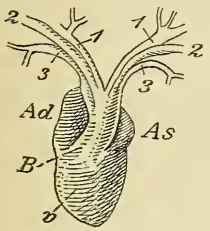


Fig. 110.

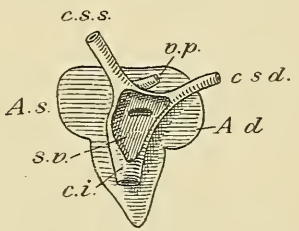


Fig. 111.

Frosch auf den Rücken und schneidet die Bauchhöhle durch einen Schnitt in der Linea alba auf, der Schnitt wird nach oben hin weiter geführt, der Schultergürtel durchschnitten und nach beiden Seiten aus einander gezogen. Man sieht das Herz dann schon im oberen Theil der Bauchhöhle liegen. Es ist noch vom Herzbeutel bedeckt. Man präparire den Herzbeutel so weit wie möglich ab.

Bau des Herzens. Das Herz besteht

1. aus einem Vorhof, innen durch ein Septum in rechten (Ad) und linken (As) Vorhof geschieden (siehe Fig. 110);
2. aus einem Ventrikel, v.

Einmündung der Venen:

Die drei Hohlvenen münden ein in einen Venensinus (s.v. in Fig. 111 von hinten gesehen und geöffnet), die paarigen oberen Hohlvenen c.s.s. und c.s.d. laufen von vorn convergirend nach hinten und münden von beiden Seiten in den Sinus ein, die

untere c. i. geht von hinten in den Sinus. Der Sinus venosus liegt auf der Rückenseite des Vorhofs, aus ihm führt eine querovale Oeffnung in den rechten Vorhof. Die Lungenvenen vereinigen sich in einem Stamm, der in die obere und vordere Wand des linken Atrium einmündet und zwischen den oberen Hohlvenen liegt. Hebt man die Spitze des Herzens mit einem stumpfen Instrument hoch, so sieht man, dass der Ventrikel mit dem an der unteren Hohlvene anliegenden Theil des Pericards durch ein feines Bändchen, das Frenulum, verbunden ist.

Arterien: Aus dem Ventrikel geht vorne und nach oben der Truncus arteriosus (B, Fig. 110) hervor, dieser theilt sich in zwei grosse Schlagaderstämme, einen rechten und einen linken. Jeder Schlagaderstamm wird durch zwei in der Länge verlaufende Septa in drei Canäle getheilt, die sich nach kurzem Verlaufe als besondere Gefässe ganz von einander ablösen:

1. der vorderste, 1, Fig. 110, der Ductus caroticus;

2. der mittlere, 2, Ductus aorticus, geht jederseits in den Aortenbogen über;

3. der hinterste, 3, Ductus pulmo-cutaneus, giebt die Arteria pulmonalis und eine grosse Hautarterie ab.

Beobachtungen am Froschherzen.

Man schneide alle Verbindungen des Herzens mit dem angrenzenden Gewebe und auch die Stämme der grossen Gefässe durch, möglichst ohne das Herz selbst zu berühren, oder gar zu verletzen, so dass das Herz ganz isolirt ist, und lege es in ein mit Kochsalzlösung benetztes Uhrschälchen.

Man beobachtet:

1. Das Herz schlägt weiter; es hat also in sich selbst die Vorrichtungen, die es in Thätigkeit setzen.

2. Die Thätigkeit des Herzens besteht in abwechselnder Zusammenziehung (Systole) und Wiederausdehnung (Diastole). In der Diastole breitet sich das Herz auf der Platte schlaff aus, es kommt ihm keine bestimmte Gestalt zu. In der Systole hebt sich die obere Seite des Herzens, das Herz wölbt sich und nimmt eine bestimmte Gestalt an.

In der Diastole giebt das Herz jedem Druck und Zug nach, fühlt sich weich an. In der Systole ist es hart. Legt man den Finger auf das Herz an, so bekommt man jedesmal bei der Systole einen Stoss gegen den Finger.

Man beachte das, weil es zum Verständniss des Entstehens des Spitzenstosses wichtig ist.

3. Die Contraction geht nicht gleichzeitig an allen Punkten vor sich, sondern so: Zuerst contrahiren sich die Vorhöfe, während die Kammer noch in Diastole ist, dann geht die Contraction auf den Ventrikel über, und während dessen erschlaffen die Vorhöfe.

Diese abwechselnde Contraction von Vorhöfen und Ventrikel ist noch besser zu beobachten am künstlich durchbluteten Herzen in der weiter unten beschriebenen Weise, oder am nicht ausgeschnittenen Herzen, durch das das Blut noch in normaler Weise circulirt.

Letztere Beobachtung stellt man an bei einem curaresirten Frosch oder an einem solchen, dessen Gehirn und Rückenmark zerstört wird, ohne dass dadurch die Circulation aufgehoben wird: Man sticht in die Schädelhöhle und den Wirbelcanal passende Holzstäbchen (Streichhölzchen) ein, die das Centralnervensystem zerstören. Diese Stäbchen lässt man liegen, damit keine Blutung eintritt.

Man legt den so hergerichteten oder curaresirten Frosch auf den Rücken und schneidet nun über dem Herzen ein genügend grosses Loch aus der Brustwand aus, möglichst ohne Blutverlust. Tritt durch Anschneiden eines Gefässes Blutung ein, so suche man dieselbe zu stillen durch Anlegen von Klemmpincetten und Abbinden des angeschnittenen Gefässes. Danach spaltet man das Pericard und präparirt es so weit wie möglich ab. Hat man das Herz so freigelegt, so hebe man die Herzspitze empor und durchschneide das Frenulum. Nun kann man ausser den beiden beschriebenen Phasen der Contraction auch noch wahrnehmen:

1. dass der Contraction der Vorhöfe eine solche des Sinus venosus vorangeht;

2. dass der Contraction des Ventrikels eine solche des Bulbus arteriosus folgt.

Bei dieser Beobachtung achte man auch darauf, dass der Herzmuskel im erschlafften Zustande roth gefärbt ist durch das in ihm circulirende Blut, dass er aber bei der Contraction blass wird.

Frequenz der Herzschläge. Einfluss der Temperatur. Bei einem ausgeschnittenen Froschherz, das zwischen zwei Uhrschälchen liegt, wird die Zahl der Herzschläge in einer Minute gezählt. Danach legt man die Uhrschälchen auf Eis, wartet einige Minuten und

zählt wieder. Die Zahl ist kleiner. Nun bringt man die Uhrschälchen auf ein Wasserbad, das erwärmt ist, oder auf ein passendes Bechergläschen, in dem sich Wasser befindet, das man über einem Bunsenbrenner oder Spiritusflamme erwärmt. Die Zahl der Herzschläge nimmt mit der Erwärmung zu. Man kann den Versuch auch so machen, dass man das Herz ganz in ein Gefäss mit Kochsalzlösung einlegt, die man erwärmt oder abkühlt.

Stannius'scher Versuch. Nach Eröffnung der Brusthöhle eines curaresirten Frosches und Entfernung des Pericards wird ein Faden unter den Aortenbögen durchgezogen. Das Frenulum wird durchschnitten, der Faden geschlungen und die Schlinge so zugezogen, dass der Knoten zwischen Herzspitze und Vena cava inferior unter das Herz zu liegen kommt. Dadurch wird der Sinus venosus vom Vorhof abgeschnürt. Das Herz hört danach auf zu schlagen. Der Sinus allein fährt fort zu pulsiren.

Reizt man nun den Ventrikel mechanisch durch Anritzen mit einer Nadel, so erfolgt jedes Mal auf den Reiz hin eine einmalige Contraction.

Eine zweite Schlinge mit demselben Faden wird so angelegt, dass der Knoten an der Vorderseite zwischen Vorhof und Ventrikel zu liegen kommt, so dass die Schlinge den Vorhof vom Ventrikel trennt. Der Vorhof bleibt danach in Ruhe, der Ventrikel schlägt wieder rhythmisch.

Dasselbe beobachtet man, wenn man statt durch Ligatur nach einander den Sinus venosus, und dann den Vorhof durch Messerschnitt abtrennt.

Nun schneide man mit Messer den Ventrikel in der Mitte durch, so, dass Spitze und Basis von einander getrennt werden. Die Basis schlägt dann weiter, die abgeschnittene Herzspitze ist ruhig.

Versuche an der abgetrennten Herzspitze haben deshalb Interesse, weil die anatomische Untersuchung ergeben hat, dass die Spitze keine Ganglienzellen trägt. Man kann also an ihr die Eigenschaften des Herzmuskels allein studiren.

Statt die Herzspitze durch Schnitt abzutrennen, kann man das auch durch Ligatur machen. Oder man klemmt nach Bernstein die Spitze mit einer Pincette mit runden Branchen so ab, dass nur der physiologische Zusammenhang zwischen Spitze und Ventrikel aufgehoben ist, dass aber die beiden Theile noch nicht von einander getrennt sind.

Diese Durchquetschung kann man auch vornehmen an einem Herzen, in dem das Blut noch normal circulirt (siehe oben). Es pulsirt dann alles weiter am Herzen ausser der abgeklemmten Spitze [1]).

Man kann in letzterem Falle die abgeklemmte Herzspitze dadurch wieder zur rhythmischen Pulsation bringen, dass man an den Aortenbulbus eine kleine Klemmpincette anlegt. Dadurch erfolgt eine Anstauung des Blutes im Herzen, eine Erhöhung des intracardialen Drucks, die die Herzspitze reizt. Nimmt man die Klemmpincette ab, so hört die Spitze nach einiger Zeit wieder auf zu schlagen.

Reizt man die abgeschnittene Spitze durch einmaligen Reiz mechanisch, etwa durch Stich oder Anritzen mit einer Nadel, so erfolgt einmalige Contraction. Zwischen Reiz und Contraction vergeht eine schon ohne besondere Hilfsmittel wahrzunehmende Zeit, das Stadium der latenten Reizung. Genauer lässt sich dies messen, sowie im Uebrigen auch die Herzspitze untersuchen, mit Hilfe der gleich zu beschreibenden graphischen Methode.

Chemische Reizung der Herzspitze. Man legt auf die abgeklemmte Herzspitze einen Kochsalzkristall auf: die Herzspitze pulsirt danach rhythmisch.

Vorrichtung zur elektrischen Reizung der abgeschnittenen Herzspitze. In einen Kork werden die von der secundären Spirale abgeleiteten Drähte mit ihren Enden so eingesteckt, wie Figur 112 es zeigt. Die auf der einen Seite hervorstehenden Enden sind so weit von einander entfernt, dass die abgeschnittene Herzspitze gerade zwischen sie gelegt werden kann. Auf die Herzspitze wird zur graphischen Registrirung ein isotonischer Schreibhebel aufgelagert, wie bei der Verzeichnung der Dickenänderung des Muskels (siehe auch unten).

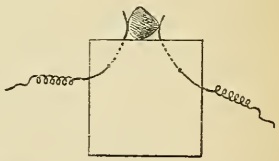


Fig. 112 (nach Stirling).

Auch kann man zur elektrischen Reizung das S. 80, Fig. 47 beschriebene Kästchen ohne Deckel benutzen, das mit Kochsalzlösung gefüllt wird, und in das das Herz eingelegt wird.

Man kann an der Herzspitze beobachten:

1. Verlauf und Dauer der Contraction bei einmaliger Reizung.

[1]) Bernstein, Centralbl. f. d. medicin. Wissenschaften, 1876.

Der Versuch wird gerade so angestellt, wie die Registrirung der Muskelzuckung. Man beachte, dass das Latenzstadium und die ganze Dauer der Zuckung beträchtlich grösser sind, als die des Skeletmuskels.

2. Einfluss der Reizstärke. Ein Reiz giebt, sofern er überhaupt wirksam ist, immer Maximalzuckung.

3. Mehrere wirksame Reize, dem Muskel schnell hinter einander applicirt, bewirken nicht, wie beim Skeletmuskel, Summation und glatten Tetanus, sondern rhythmische Contractionen, höchstens einen unvollkommenen Tetanus.

Elektrische Reizung des unversehrten Herzens. Auch das unversehrte ganze Herz, das noch selbständig thätig ist, lässt sich elektrisch reizen. Hier bedient man sich aber besser, um streng localisirte Reizungen zu bekommen, der unipolaren Reizung (siehe S. 46 und K. Kaiser, Zeitschrift für Biologie, N. F., Bd. XI). Hierbei zeigt sich:

Wenn der elektrische Einzelreiz den Vorhof oder die Kammer trifft in der Zeit der Systole, wo die Contraction noch zunimmt, so hat sie keine Wirkung, das Herz ist in dieser Zeit „refractär". Erfolgt sie in der Zeit nach dem Contractionsmaximum, in der Diastole, so wird dadurch eine Contraction bewirkt. Die darauf folgende Diastole hält länger an, als die normale.

Actionsstrom der Herzcontraction. Man legt den Nerven eines stromprüfenden Froschschenkels dem Herz eines Frosches auf, das durch Eröffnung der Brusthöhle und des Herzbeutels freigelegt ist, so dass der Nerv sich von der Spitze bis zur Basis erstreckt. Jedesmal, wenn das Herz sich contrahirt, zuckt auch der Muskel des Nervmuskelpräparats. Der Versuch gelingt allerdings nicht immer. Manchmal beobachtet man, dass nicht bloss durch die Systole, sondern auch durch die Erschlaffung in der Diastole eine Zuckung ausgelöst wird.

Denselben Versuch kann man machen an einem Herzen, dem man die erste Stannius'sche Ligatur angelegt hat und das man künstlich reizt: hier erfolgt jedesmal nach einer wirksamen Reizung eine secundäre Zuckung. Dabei ist zu beobachten, dass die secundäre Zuckung des Nervmuskelpräparats auftreten kann, ehe das Herz sich contrahirt: es fällt also die Erregung des Nerven durch den Actionsstrom des Herzmuskels in das Latenzstadium des letzteren.

Methoden der graphischen Registrirung der Herzthätigkeit.

1. Directe Erhebung eines Zeichenhebels durch das Froschherz.

a) **Am ausgeschnittenen Froschherz.** Man legt dem auf einer platten Unterlage liegenden Herzen einen leichten isotonischen Schreibhebel auf, ebenso wie früher beschrieben bei der Registrirung der Dickenänderung des Muskels. Legt man den Zeichner so über das Herz, dass er Vorhof und Kammer zugleich berührt, so erhält man eine Curve mit zwei Hauptzacken, entsprechend der abwechselnden Contraction von Vorhof und Ventrikel. Man kann beide auch von einander getrennte Curven zeichnen lassen, wenn man zwei isotonische Zeichner neben einander aufstellt, den einen dem Ventrikel, den andern dem Vorhof auflagert und beide gleichzeitig auf dieselbe Trommel schreiben lässt. Die Zeichner liegen der Trommel so an, dass sie genau senkrecht über einander stehen, ähnlich wie das bei der Messung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Contractionswelle gemacht wurde (siehe Fig. 113). Die erhaltenen Curven geben ein noch besseres Bild der abwechselnden Contraction der beiden Theile. Gleichzeitig kann man, um den Verlauf der Contraction zu messen, eine der bekannten Methoden zur graphischen Registrirung der Zeit verwenden. Man zeichnet an die Trommel des Kymographions, dem eine passende Geschwindigkeit gegeben wird.

Um starke Vergrösserung zu erhalten, legt man das Herz nahe der Axe unter den Hebel. Ist der Hebel so schwer, dass er das Herz zu stark drückt, und in Folge dessen die Bewegungen des Hebels zu gering für eine deutliche Kurve werden, so bringt man ein belastendes Gewicht so an der Axe an, dass es den Hebel nach aufwärts zu ziehen sucht. Das Gewicht wird so gross gewählt, dass der Hebel eben noch ein kleines Uebergewicht nach unten hat. Es giebt auch Zeichner, die schon gleich ein passendes Gegengewicht an einem an ihrer Axe befestigten Stäbchen tragen, wie z. B. die von François Frank, Fig. 113.

Statt den Hebel direct aufzulegen, kann man auch an ihn einen nach unten gehenden Korkpfeiler mit stumpfer Spitze oder ein senkrecht nach unten gehendes, in der Mitte mit Gelenk versehenes Metallstäbchen, das an seinem unteren Ende ein Aluminiumplättchen trägt, befestigen und Korkspitze oder Plättchen dem Herzen auflegen. Dies ist besonders dann vortheilhaft, wenn man die

Bewegungen einzelner circumscripter Stellen allein registriren will. Siehe Fig. 113.

b) **Am Froschherz**, das beim getödteten oder curaresirten Frosche in situ erhalten ist und noch **normal durchblutet** wird. Der Frosch liegt auf dem Rücken, das Herz ist freigelegt. Man legt auch hier

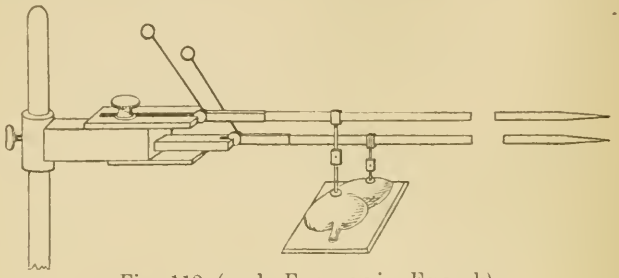


Fig. 113 (nach François Frank).

die Zeichner auf durch Vermittlung eines senkrecht stehenden Zwischenstücks wie in dem letzteren Fall. Dabei kann aber Folgendes von Nachtheil sein: Das Herz führt während seiner Thätigkeit eine Art Ortsbewegung aus, in dem die Atrioventrikulargrenze jedesmal bei der Systole etwas nach unten, bei der Diastole etwas nach oben rückt. Dadurch kann bewirkt werden, dass das untere Ende des senkrechten Zwischenstücks fortwährend auf dem Herzen, dem es aufliegt, umherrutscht. Um das zu vermeiden, hat Kaiser (Zeitschr. f. Biolog., N. F., Bd. XI) folgende Vorrichtung construirt. Der senkrecht stehende Strohhalm ef, Fig. 114, der mit seinem unteren Ende dem Herzen aufgelagert wird, hängt mittels einer Aluminiumöse an dem Schreibhebel ab, ist also nicht fest damit verknüpft. Hier führen die Ortsbewegungen des Herzens nur zu leichten Drehungen der Oese, die für die entstehende Curve ohne Bedeutung sind. Diese Art der Verbindung ermöglicht es überdies, die Vergrösserung durch den Hebel durch Verschieben der Oese an ab bequem zu variiren. Die lockere Verbindung von ab mit ef macht aber für ef eine Gradführung nöthig; dieselbe ist

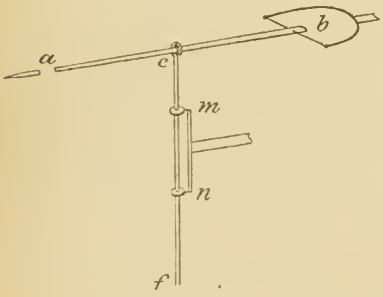


Fig. 114.

hergestellt durch zwei Ringe m und n, durch die e f hindurchgeführt ist, und die durch eine passende Vorrichtung am Stativ befestigt sind, so dass sie horizontal und vertical verstellt werden können. Das Brett, auf das der Frosch aufgelegt wird, wird an dem Stativ des Zeichenhebels so befestigt, dass es sowohl allein als auch zusammen mit diesem verstellt werden kann.

2. Suspensionsmethode.

a) Beim ausgeschnittenen Herzen. Man hängt das Herz an einem Haken oder einer Klammer auf, die etwa an der Einmündungsstelle der Venen befestigt wird. Ein Haken wird in die Herzspitze gestossen und damit mittels Faden ein isotonischer Zeichner verknüpft.

Um Vorhof und Ventrikelcontraction getrennt von einander zu registriren, bedient man sich folgender von Gaskell (Philos. Transact. 1882, III, p. 993) angegebenen Methode:

Eine Klammer wird dem Herzen an der Atrioventriculargrenze angelegt, so dass das Herz dadurch festgehalten, aber nicht gequetscht und geschädigt wird. Der Vorhof liegt über, der Ventrikel unter der Klammer. In beide werden Haken eingestossen, die mittels Fäden mit isotonischen Zeichnern verknüpft werden. Der Zeichner für den Vorhof liegt über demselben, er wird nach abwärts gezogen, deshalb muss das belastende Gewicht an der Rolle resp. Axe so angebracht werden, dass es den Zeichner nach oben zieht, oder er wird gehalten durch einen Kautschukfaden, an den er angehängt ist.

b) Bei dem in situ erhaltenen Herzen.

Siehe: Langendorff, Du Bois-Reymond's Archiv für Physiol. 1884, Supplementband.
Engelmann, Pflüger's Archiv f. d. ges. Physiol., Bd. 52, S. 357.

Dem auf den Rücken gelegten curaresirten oder ohne Blutung getödteten Frosch wird ein 1 qcm grosses Fenster in die Brustwand über dem Herzen eingeschnitten, nach Spaltung des Pericards die Kammer durch sanften Druck auf das Epigastrium herausgehoben und durch dieselbe in 1—1,5 mm Entfernung von der Spitze, von unten und hinten her ein nicht zu dünnes spitzes Häkchen von Elfenbein, Metall oder Glas gestochen. Am Häkchen ist ein dünner Zwirn- oder Seidenfaden befestigt, der an seinem anderen Ende ein zweites ähnliches, in den Schreibhebel einzuhängendes Häkchen trägt.

Als Schreibhebel kann man einen gewöhnlichen isotonischen Hebel benutzen, dessen Belastung so angebracht ist, dass sie den Hebel nach oben zieht, während der Zug des Herzens nach unten erfolgt. Engelmann benutzt einen zweiarmigen Hebel: Ein um eine horizontale Axe drehbares plattes Aluminiumplättchen, 12 cm lang; am Ende des einen, 6 cm messenden Arms trägt es eine 6 cm lange Schreibspitze aus Aluminiumblech, am Ende des anderen Arms ein zur Aequilibrirung dienendes Gewicht. In letzterem Arm befinden sich in verschiedenen Entfernungen von der Axe Löcher zum Einhängen des Häkchens. Je weiter von der Axe das Häkchen eingehängt wird, desto geringer ist die Vergrösserung. Um die Spannung des Herzens beliebig variiren zu können, verschiebt man auf dem Hebelarm, der die Schreibspitze trägt, ein Gewicht von 1 g, oder nach Bedarf ein grösseres.

3. Registrirung des Drucks. Froschherzmanometer von Kronecker.

Siehe Kronecker in Beiträge z. Anat. und Physiol., Festschr. f. C. Ludwig, Leipzig 1874 und Zeitschr. f. Instrumentenkunde, Bd. IX, 1889.

Das Manometer registrirt die Druckänderungen im ausgeschnittenen, von ernährender Flüssigkeit durchströmten Froschherzen.

Zur Zuleitung und Ableitung der Flüssigkeit dient die Doppelwegcanüle von Kronecker. Die Canüle besteht aus einer Metallröhre, die durch eine Scheidewand ihrer Länge nach in zwei getheilt ist, von denen die eine mit dem Rohre a, die andere mit b (Fig. 115) communicirt. Die Scheidewand ist durch die punktirte Linie angedeutet. Bei d trägt die Canüle eine Rinne zum Aufbinden des Fadens, mit dem das Herz an die Canüle festgebunden wird. Bei c befindet sich ein Dorn zur Verbindung mit der Stromleitung bei elektrischer Reizung.

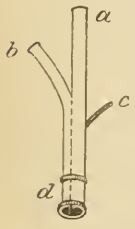


Fig. 115.

Die Canüle wird mit dem Ende bei d in die untere Hohlvene eingeführt und je nach Wunsch mehr oder weniger tief das Herz eingeführt. Nun bindet man das Herz auf der Canüle mit einem Faden bei d fest.

Die Röhre b wird durch einen mit Klemmschraube K_1 (Fig. 116) verschliessbaren Gummischlauch verbunden mit dem Gefäss, aus dem die Flüssigkeit in das Herz hineinfliessen soll, und das nach dem Princip der Mariotte'schen Flasche (siehe S. 77) gebaut ist, um den Druck, unter dem die Flüssigkeit ins Herz einfliesst, con-

stant zu halten. Um verschiedene Flüssigkeiten abwechselnd bequem durchleiten zu können, stellt Kronecker zwei solcher Gefässe auf. Die Gefässe sind als Mariotte'sche Flaschen hergerichtete Büretten. Durch passende Einstellung des Hahns h_1 (siehe das Schema der Anordnung in Fig. 116) kann entweder die eine oder die andere Bürette mit b verbunden werden. Die Röhre a ist verbunden mit einem T-Rohr, und von da einmal mit einem Rohr r zum Abfliessen der Flüssigkeit; der Abfluss kann durch eine Klemmschraube an dem verbindenden Gummischlauch bei K_2 geschlossen

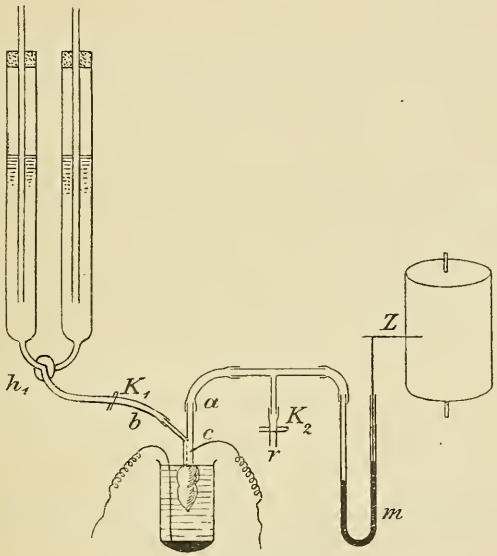


Fig. 116.

werden — und zweitens mit dem registrirenden Quecksilbermanometer m, d. i. einer U-förmig gebogenen, zur Hälfte mit Quecksilber gefüllten Röhre, die auf dem Quecksilberniveau des offenen Schenkels einen Schwimmer trägt, der durch ein senkrecht stehendes leichtes Stäbchen mit der Zeichenfeder Z verbunden ist. Aenderung des Drucks hat veränderte Stellung des Quecksilberniveaus und damit der Zeichenfeder zur Folge, die auf eine Schreibfläche (Baltzar's Kymographion) aufgezeichnet wird. Ein feiner Coconfaden mit Gewicht, der neben der Zeichenfeder aufzuhängen ist, lehnt die Zeichenfeder sachte gegen die Schreibfläche an.

Wenn die beiden Klemmen K_1 und K_2 offen sind, fliesst die Flüssigkeit durch das Herz hindurch. Während der Zeit, wo das

Herz am Manometer arbeiten soll, werden die Klemmen K_1 und K_2 geschlossen.

Als Durchspülungsflüssigkeit nimmt man verdünntes Kalbsblut (1 Theil Blut auf 2—3 Theile 0,6procentiger NaCl-Lösung). Man kann aber auch den Einfluss anderer Flüssigkeiten auf das Herz untersuchen.

Damit die Aussenfläche des Herzens nicht trocken wird, stellt man es in ein Gefäss G mit physiologischer Kochsalzlösung oder verdünntem Blut. Das Herz und der Abfluss r müssen selbstverständlich tiefer stehen, als die Büretten, damit Flüssigkeit aus diesen durchs Herz durchlaufen kann.

Um den Druck, unter dem die Flüssigkeit durchs Herz fliesst, leicht und bequem zu variiren, verschiebt man die inneren Röhren in den als Mariotte'sche Flaschen hergerichteten Büretten.

Zur elektrischen Reizung legt man den einen Draht an den Dorn c an, den anderen taucht man in Quecksilber, das man auf den Boden des Gefässes G gegossen hat.

4. Ueber die Aufzeichnung der Volumänderungen des ausgeschnittenen Froschherzens finden sich im folgenden Kapitel Angaben.

XXXVIII. Kapitel.

Erzeugung eines Kreislaufs durch das ausgeschnittene Froschherz.

Allgemeine Anordnung des Versuchs. Man führt in die Vena cava inferior und in die linke Aorta je eine Canüle ein, bindet sämmtliche anderen Zu- und Abflüsse zu und schneidet das Herz aus. Durch die Venencanüle wird Flüssigkeit in das Herz eingeführt und in Folge der Thätigkeit des Herzens durch die Aortencanüle wieder herausgetrieben.

Operation. Man legt das Herz frei, entfernt das Pericard so weit wie möglich und durchschneidet das Frenulum. Die untere Hohlvene wird in der Nähe des Herzens freigelegt, ohne sie zu verletzen; damit das leicht geht, wird von der Leber so viel wie möglich entfernt. Unter der Hohlvene und unter dem linken Aortenbogen wird je ein Faden durchgezogen.

Einführen der Canülen. Die zu diesem Zwecke benutzten Canülen sind kurze Metall- oder Glasröhren von passender Weite, an beiden Enden offen. Das eine Ende, das in das Gefäss eingeführt werden soll, ist abgeschrägt, damit es bequem eingeführt werden kann. Bei Metallcanülen befinden sich in der Nähe dieses Endes einige Rippen, durch die der aufgebundene Faden festgehalten wird, bei Glascanülen befindet sich kurz vor diesem Ende ein dünneres Stück, ein Hals, über dem der Faden festgebunden wird, so dass die Canüle nicht aus dem Gefäss herausgleitet. Hat man keine fertigen Canülen zur Verfügung, so verfertigt man sich solche aus Glas. Ein Glasröhrchen, das eine dem Zweck der Canüle entsprechende Weite hat, wird an einer Stelle in einer Gebläseflamme erhitzt unter fortwährendem Drehen des Rohrs um seine Längsaxe; wenn die Stelle weich geworden ist, so zieht man sie ein wenig aus durch schwaches Ziehen an beiden Enden des Röhrchens, so dass das Röhrchen nun so aussieht, wie Fig. 117 es zeigt. Das Röhrchen wird nun auf einer Seite der verjüngten Stelle nahe an derselben abgeschnitten und auf einem Schleifstein schräg geschliffen, entsprechend der schrägen Linie s in Fig. 117.

Fig. 117.

Zum Einführen der Canüle wird in das Gefäss so weit wie möglich entfernt vom Herzen ein Einschnitt mit einer spitzen Scheere gemacht, weit genug, um das Einführen der Canülen zu gestatten. Man hält das Loch im Gefäss mit einer Pincette oder einem Finder offen und führt die Canüle mit ihrem zugespitzten Ende in der Richtung nach dem Herzen zu ein. Dann wird der Faden über dem Hals der Glascanüle, resp. über einer Rippe der Metallcanüle zugebunden und zwar an einer Stelle des Gefässes zwischen Herz und dem Loch, in das die Canüle eingeführt war. Zu beachten ist, dass die Spitze der Canüle nicht so tief steckt, dass sie in der Herzkammer selbst liegt und den regelmässigen Verschluss der Klappen hindert. Auf diese Weise werden in die Vena cava inferior und linke Aorta Canülen eingebunden.

Abbinden aller anderen Zu- und Abflüsse. Unter dem rechten Aortenbogen wird ein Faden durchgeführt und mit diesem die Aorta zugebunden, der Aortenbogen jenseits der Unterbindungsstelle (vom Herzen aus betrachtet) durchgeschnitten.

Nun wird nochmals ein Faden unter der Vena cava inferior

durchgezogen, das eine Ende des Fadens dann unter den beiden Aortenbögen durchgeführt und der Faden nun geschlungen. Nachdem man das Herz aus der Brusthöhle sachte hervorgezogen hat und die Fadenschlinge so tief wie möglich gegen den Rücken zu gedrückt hat, zieht man sie zu. Dadurch werden die beiden oberen Hohlvenen und die Lungenvene zugebunden. Man schneidet das Herz nun von allen Verbindungen jenseits der Ligaturen los, so dass es ganz frei herausgenommen werden kann.

Aufstellung. Die Venencanüle wird durch einen Gummischlauch mit der tubulirten Flasche verbunden, aus der die Durchleitungsflüssigkeit in das Herz einströmen soll. An die Arteriencanüle wird ein Gummischlauch angesetzt, dessen freies Ende über

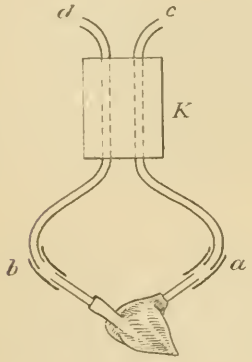


Fig. 118.

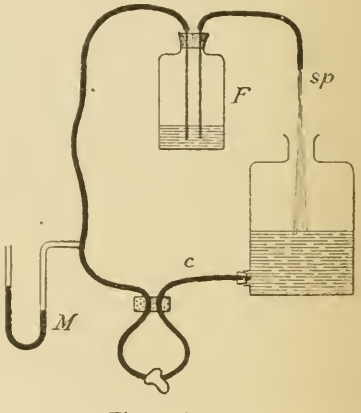


Fig. 119.

der tubulirten Flasche steht, so dass die durch die Thätigkeit des Herzens im Schlauch gehobene Flüssigkeit aus dem offenen Ende in die Flasche zurückfliesst. Das Herz lässt sich am besten beobachten, wenn es ganz frei hängt. Zu dem Ende befestigt man die beiden Canülen an einem Stativ, am zweckmässigsten in folgender Weise:

In einen doppelt durchbohrten Korkpfropfen K (Fig. 118) sind zwei Glasröhrchen hineingesteckt, deren unten herausragende Enden so gebogen sind, wie Fig. 118 es zeigt. Die Entfernung der beiden Oeffnungen a und b von einander ist ein wenig grösser, als die der beiden freien Canülöffnungen, wenn die Canülen genau in der Längsrichtung der Gefässe liegen, in die sie eingebunden

sind. Man verbindet nun mit a die Venencanüle, mit b die Arteriencanüle durch ein kurzes Stück Gummischlauch und achtet darauf, dass nach der Verbindung das Herz nicht gezerrt ist, und auch die Canülen nicht so verdreht sind, dass die freie Leitung durchs Herz unterbrochen ist. Mit dem Ende c wird nun die tubulirte Flasche, mit d der Gummischlauch verbunden. Die ganze Vorrichtung wird an dem Kork mittels Korkzange gefasst und am Stativ befestigt.

Als Durchleitungsflüssigkeit wird verdünntes Blut benutzt, etwa aus dem Schlachthaus bezogenes Kalbsblut, das mit physiologischer Kochsalzlösung auf das 3—4fache seines Volumens verdünnt ist.

Das Gefäss, aus dem das Blut in die Vene einfliesst, ist eine etwa 200 ccm fassende Flasche mit Tubus an ihrem Boden. In den Tubus wird ein durchbohrter Korkpfropf eingekittet. In der Bohrung liegt ein Glasröhrchen, dessen äusseres Ende durch einen Gummischlauch mit der zur Venencanüle führenden Röhre bei c (Fig. 119) verknüpft ist. Das Gefäss wird vor der Verbindung mit der Durchleitungsflüssigkeit gefüllt, bei der Verbindung achte man darauf, dass so wenig Luft als möglich in der Leitung bleibt. Das Niveau der Flüssigkeit in der Flasche wird etwas höher als das Herz gestellt, so dass das Blut von selbst ins Herz einfliesst.

An dem von der Arterie abgeleiteten Gummischlauch wird noch Folgendes angebracht: Eine Vorrichtung, die dieselbe Form und Function hat, wie der Windkessel der Feuerspritze. Es ist eine einfache Flasche, F, verschlossen mit doppelt durchbohrtem Korkpfropfen. In den beiden Bohrungen sind Glasröhren eingesetzt, die bis zum Boden der Flasche reichen. Der Gummischlauch führt nun von der Arteriencanüle zum einen Glasrohr, ein anderes Stück Gummischlauch vom zweiten Glasrohr zu einer kleinen Glasröhre, die nach abwärts gebogen und deren Ende spitz ausgezogen ist (sp, Fig. 119). Diese Spitze wird über die tubulirte Flasche gestellt, so dass das Blut aus ihr in die Flasche hineinfliesst. Durch den Windkessel und die Spitze wird es ermöglicht, dass die Flüssigkeit in stetigem Strahle ausfliesst.

Der Abstand der Spitze von dem Niveau der Flüssigkeit in der tubulirten Flasche wird zunächst etwa zu 10 cm gewählt, jedoch bringt man alle Theile an einem Stativ so an, dass man diesen Abstand im Bedarfsfalle bequem verändern kann.

Schliesslich kann man, um den Druck zu messen, seitlich an dem Verbindungsschlauch zwischen Arteriencanüle und Windkessel,

noch eine Leitung anbringen, die zu einem Quecksilbermanometer M führt.

Damit das Herz nicht aussen trocken wird, muss man es häufig befeuchten, oder besser: man stellt das ganze Herz in ein passendes Gefäss, das mit physiologischer Kochsalzlösung gefüllt ist.

Der Versuch lehrt, dass das Herz im Stande ist, Flüssigkeit in bestimmter Richtung durch sich zu bewegen und zu heben.

Man beachte hier nochmals den Ablauf der Contraction über die einzelnen Theile des Herzens.

Die Arbeit, die das Herz hier bei jedem Herzschlag leistet, bestimmt man in folgender Weise:

Die geleistete Arbeit ist gleich dem Product des Gewichts der gehobenen Flüssigkeit und der Höhe der Erhebung.

a) Bestimmung des Gewichts der gehobenen Flüssigkeit. Man hält unter die Spitze einen kleinen Messcylinder und bestimmt mit der Uhr, in welcher Zeit eine bestimmte Zahl von Cubikcentimetern, sagen wir 10, auslaufen. Zugleich zählt man in dieser Zeit die Herzschläge. Dann dividirt man das Volumen durch die Zahl der Herzschläge und erhält so die auf jede Contraction entfallende Flüssigkeitsmenge. Da das specifische Gewicht der Flüssigkeit beinahe eben so gross wie das des Wassers ist, so giebt die erhaltene Zahl der Flüssigkeitsmenge in Cubikcentimetern auch annähernd gleich das Gewicht in Gramm an.

b) Die Hubhöhe ist gleich dem Abstand der Spitze, aus der die Flüssigkeit ausgetrieben wird, von dem Niveau der Flüssigkeit in der Zuleitungsflasche. Dieser Abstand wird mit einem Massstab gemessen. Man kann die Arbeit für verschiedene Hubhöhen bestimmen, wenn man letztere variirt.

Der Versuch kann dazu benutzt werden, den Einfluss von Giften auf die Herzthätigkeit zu studiren. Man löst das zu untersuchende Gift in der Flüssigkeit, die man durch das Herz führt. Die Flüssigkeit gelangt in den Gefässen des Herzens auch zu deren Nervenzellen und Muskelfasern hin.

Wenn man das Herz bei diesem Versuche in einen mit Luft oder Wasser gefüllten Behälter luftdicht einschliesst, der drei Oeffnungen besitzt, nämlich ausser den beiden für die Canülen noch eine zur Verbindung mit dem Gummischlauch, der zu einer Marey'schen Registrirtrommel (siehe Luftübertragungsverfahren, Kapitel XLI) oder zu einem registrirenden Manometer führt, so kann man die Volumänderungen des Herzens bei der Thätigkeit damit graphisch registriren.

Siehe darüber: Blasius, Arb. a. d. physiol. Laborat. zu Würzburg, 1. Lief. 1872.

XXXIX. Kapitel.

Function der Klappen, beobachtet am ausgeschnittenen Ochsenherzen.

Nach Gad, Du Bois-Reymond's Archiv f. Physiol. 1886, S. 380.

An einem aus dem Schlachthaus bezogenen Ochsenherzen wird nach Lösung der Starre künstliche Circulation durch den linken Vorhof und Ventrikel erzeugt und das Klappenspiel beobachtet.

Zwei Messingcanülen, a u. b der schematischen Fig. 120, 5 cm lang, die eine 7 cm, die andere 5 cm im Durchmesser, sind beide an einem Ende verschlossen durch eine aufgeschraubte planparallele Glasplatte. An der Seite jeder Canüle ist ein Tubulus von 1,5 cm Durchmesser und 2,6 cm Länge. Die grössere Canüle wird in den linken Vorhof des Herzens eingebunden, mit dem Glasfenster nach aussen, ihre seitliche Oeffnung ist in Verbindung durch einen Gummischlauch mit dem unteren Tubus einer tubulirten 5 l haltenden Glasflasche, g, aus der Wasser in den Vorhof und von da in die Kammer hineinfliessen kann. Das Wasserniveau wird 40 cm höher als der Vorhof gestellt. Die zweite Canüle ist in ähnlicher Weise eingelegt und festgebunden in die Aorta, so dass man durch das Glasfenster die Aortenklappen sehen kann, ihre seitliche Oeffnung steht in Verbindung mit einem 1 m langen Gummischlauch, dessen anderes Ende zu dem einen Schenkel eines ∩-förmig gebogenen Glasrohrs o führt. Der freie Schenkel

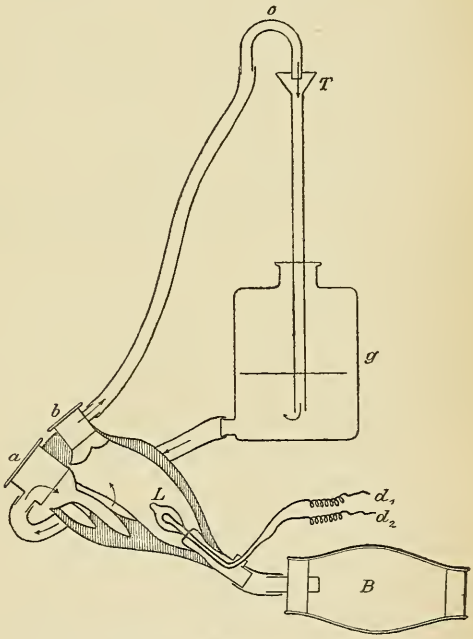


Fig. 120.

dieses Rohrs mündet über einem Trichter T, von dem ein Kautschukrohr bis unter das Niveau des Wassers in der Flasche G reicht.

Zweckmässig ist es, in den letzteren Gummischlauch auch hier, wie im vorigen Versuche, einen Windkessel einzuschalten, wenn der Gummischlauch allein nicht genügt, um die Flüssigkeit aus dem ∩ Rohr in stetigem Strahle ausfliessen zu lassen.

In die Herzspitze ist ein Loch bis in den linken Ventrikel hinein eingestossen und darin ein 2 cm weites, vorne gewulstetes Glasrohr eingelegt und eingebunden, dessen äussere Oeffnung verbunden ist mit einem grossen dickwandigen Gummiballon B.

Es füllt sich nun Vorhof, Ventrikel und Gummiballon mit Wasser. Comprimirt man den Ballon mit der Hand, so werden durch den Druck die Klappen zwischen Vorhof und Ventrikel geschlossen, die Flüssigkeit entweicht durch die Aorta in den Schlauch. Lässt die Compression nach, so bewirkt der Druck der Flüssigkeit im Aortenschlauch Schliessung der Aortenklappen, so dass keine Flüssigkeit zurückfliessen kann; die Flüssigkeit kann also nur in die Zuleitungsflasche entweichen. Bei Nachlass der Compression öffnen sich aber wieder die Atrioventricularklappen und es strömt neue Flüssigkeit aus dem Zuleitungsgefäss in Ventrikel und Gummischlauch hinein.

Man kann nun durch rhythmische Compression des Gummiballons die Contraction des Herzens nachahmen und die Art des Schlusses und der Oeffnung der Klappen durch die Fenster hindurch beobachten.

Um das Klappenspiel noch deutlicher zu sehen, kann man das Herzinnere erleuchten mit einer kleinen Glühlampe. Die Drähte d_1 und d_2 derselben werden vor Einbinden der Aortencanüle durch die Aorta in den Ventrikel hinein und von da durch die Canüle an der Spitze hinausgeführt. Nun zieht man an den Drähten die Lampe L bis in den Ventrikel hinein. Die Drähte werden aus einer seitlichen Oeffnung der Spitzencanüle herausgeleitet; diese Oeffnung muss danach wasserdicht zugekittet werden. Die Glühlampe wird gespeist durch einen constanten Strom von entsprechender Stromstärke.

Für eine solche kleine Glühlampe wird ein Strom von 4 Groves ausreichen. Man schalte in die Leitung einen Rheostaten oder Rheochord ein und wähle die Stromstärke gerade so gross, dass die Lampe das Innere gut durchleuchtet.

Wenn man den Versuch so anstellt, fliesst Flüssigkeit durch die Coronararterie in den Herzmuskel, von da durch die Coronarvene in den rechten Vorhof und dann nach aussen ab. Die geringen Mengen Flüssigkeit, die so verloren gehen, kann man durch Zugiessen in die Zuleitungsflasche wieder ersetzen. Man bindet dann am besten in den rechten Vorhof und die Arteria pulmonalis Korke ein. Der Kork im rechten Vorhof ist durchbohrt, in die Durchbohrung wird ein nach abwärts gebogenes Glasrohr eingesetzt, aus dem das Wasser ablaufen kann in ein darunter aufgestelltes Gefäss. Man kann aber diesen Abfluss auch ganz verhindern dadurch, dass man vorher die Arteria coronaria frei präparirt und zubindet.

Bei dem Versuch ist noch eins zu beachten. Der Contraction des Ventrikels entspricht die Compression des Gummiballons. Bei der Compression des Gummiballons bläht sich nun der Ventrikel auf, weil der Druck in ihm erhöht wird, bei Nachlass der Compression wird der Ventrikel wieder kleiner. Man lasse sich durch diese Bewegung des Ventrikels, die umgekehrt ist, wie beim selbständig thätigen Herzen, nicht zu falscher Vorstellung von der Beziehung der Herzthätigkeit zu dem Klappenspiel führen. Um die Aufblähung des Herzens zu verringern, kann man es in ein Tuch fest einwickeln und dieses mit Bindfaden darauf befestigen.

Nach dem Versuche schraubt man die Glasplatten von den Canülen ab und entfernt die Kautschukröhren von den Tubulis. Man kann das Herz in 10procentiger wässeriger Chlorallösung aufheben; darin erhalten sich die Klappen weich und elastisch, so dass der Versuch an demselben Herzen jederzeit wiederholt werden kann.

XL. Kapitel.

Beobachtung der Herzcontraction beim Kaninchen.

Festhalten des Kaninchens. Der verbreitetste Apparat zum Festhalten von Kaninchen ist **Czermack's Kaninchenhalter.** Er besteht aus einer Holzplatte mit Löchern am Rande zum Festbinden der Extremitäten. Das Thier wird je nach Bedarf auf den Rücken oder auf den Bauch aufs Brett ausgestreckt hingelegt. Die Glieder

werden mit einem Strick oder festen Band angeschlungen in der Weise, wie Fig. 121 es zeigt, das eine Ende des Stricks durch eins der Löcher gesteckt und die beiden Enden dann mit einander verknotet. Das Thier darf nicht zu locker gebunden werden, damit nicht etwaige Bewegungen während der Operation störend wirken.

Zum Halten des Kopfes ist an einer Breitseite des Brettes ein senkrechter Eisenstab angebracht, daran mit Muffe beweglich ein horizontaler Stab, dessen freies Ende den Apparat zum Festhalten trägt (Fig. 122). Es kommt das Querstück bei A zwischen die Kiefer hinter die Schneidezähne zu liegen, das Querstück B

Fig. 121.

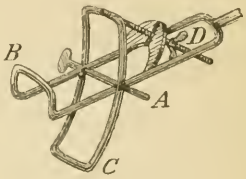


Fig. 122.

auf den Unterkiefer, C auf die Stirngegend. Durch Drehen an der Schraube D kann man C und B gegen einander drücken und dadurch den Kopf festhalten. In Fig. 120 steht der Kopfhalter eingestellt für Rückenlage des Versuchsthieres, dreht man ihn herum, so dass B unten, C oben steht, so ist er für Bauchlage eingestellt.

Ein einfacherer Kopfhalter ist vom Mechaniker Hoffmeister in Marburg construirt worden. Derselbe besteht aus einer hufeisenförmigen Zwinge, die das Genick umfasst, und einem Stab, der fest mit der Zwinge verbunden ist und im Bogen über Hinterhaupt und Stirne in der Medianlinie des Gesichts nach vorne läuft; entlang dieses Stabes lässt sich ein Ring verstellen, der über die Schnauze geschoben und festgeschraubt wird. Ein fast gleicher Kopfhalter zur Fesselung von Meerschweinchen und Ratten ist von Verdin in Paris gebaut worden (siehe Fig. 123).

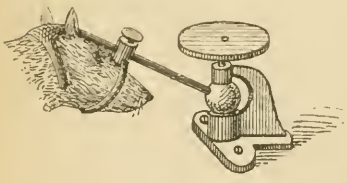


Fig. 123 (nach Fredericq).

Steinach (Arch. f. d. ges. Physiologie von Pflüger, Bd. 53, S. 171) hat den zuletzt beschriebenen Kopfhalter sehr zweckmässig in folgender Weise verändert:

1. der Halterstab liegt nicht der Medianlinie auf, sondern mehr seitlich, so dass Operationen am Schädel, Gehirn und den Augen ermöglicht sind;

2. der Apparat erlaubt eine Anpassung an die Kopfgrösse des Thieres dadurch, dass

a) die lichte Weite des dem Hinterhaupt anliegenden Bogens veränderlich ist;

b) zum Festhalten der Schnauze drei verschieden grosse Ringe dem Apparat beigegeben sind, von denen in jedem Einzelversuch der passendste in den Apparat eingesetzt wird.

Steinach's Kopfhalter eignet sich für Meerschweinchen, Kaninchen verschiedener Grösse und sogar kleine Hunde.

Anästhesiren des Kaninchens. Vor dem Aufbinden oder vor der Operation muss das Versuchsthier narkotisirt werden.

Das Kaninchen verträgt die beim Menschen meist verwendeten Narkotika: Aether oder Chloroform, nach der Tropfmethode oder mit der Esmarch'schen Maske applicirt, schlecht [1]). Man verwendet daher besser andere Substanzen. Es seien erwähnt:

1. Chloralhydrat

und zwar in 50procentiger Lösung entweder subcutan, oder in die Bauchhöhle mit Pravaz'scher Spritze injicirt, 1 g genügt zur Narkose.

2. Morphium

in Lösung subcutan oder intravenös injicirt. 0,008—0,015 g.

Ueber intravenöse Injection siehe S. 268, Kapitel XLVII.

3. Alkohol.

Fredericq (Manipulat. d. physiologie S. 19) empfiehlt 7—10 ccm gelöst in doppeltem Volum Wasser, mit einer Magensonde dem Thiere in den Magen eingeführt. Nach einigen Minuten ist ein 2,0—2,5 kg schweres Thier narkotisirt.

Operation [2]). Bei dem festgebundenen und gut narkotisirten Thiere wird in der Mittellinie über dem Sternum und etwas nach oben und unten über dasselbe hinaus ein Hautschnitt gemacht und

---

[1]) Nach den Angaben Kappeler's (Deutsche Zeitschrift f. Chirurgie XXXVI, 3/4, S. 247) wird allerdings Chloroform vom Kaninchen gut vertragen, wenn es mit dem Apparat Kappeler's dem Thiere zugeführt wird. Von 40 Narkosen erhielt Kappeler nur einen Todesfall. Die Thiere waren in 1—10 Minuten, durchschnittlich 4,4 operationsbereit.

[2]) Siehe Gad, Du Bois-Reymond's Archiv f. Physiol. 1878, S. 597.

derselbe bis auf den Knochen durchgeführt. Sollten dabei einige Gefässe angeschnitten werden und dadurch Blutung entstehen, so fasst man dieselben mit einer Klemm- oder Schieberpincette und bindet sie dann mit einem Faden zu. Dann geht man mit einer Knochenscheere unter dem Processus xiphoideus ein und durchschneidet ihn und danach das ganze Brustbein nach aufwärts immer in der Medianlinie. Das Blatt der Scheere, das unter den Knochen zu liegen kommt, darf man dabei niemals zu tief einstechen, damit nicht durch seine Spitze die unter der Brustwand liegenden Theile, Herz und grosse Gefässe, verletzt werden. Wenn man sich nicht genau in der Mittellinie hält, verletzt man leicht die Arteriae mammariae internae oder die Pleura; deshalb muss man streng darauf halten, genau in der Mittellinie den Knochen zu durchschneiden. Ist das Sternum so der Länge nach gespalten, so zieht man mit stumpfen Haken die beiden Schnittränder aus einander. Man sieht dann vor sich das Pericard, das man durch einen Schnitt von oben nach unten möglichst weit spaltet. Danach liegt das Herz frei.

Man kann es nun beobachten, insbesondere achte man auf den Verlauf der Contraction über das ganze Herz. Ferner lässt sich die Thätigkeit des Herzens nach der graphischen Methode studiren in ähnlicher Weise, wie die des in situ erhaltenen Froschherzens.

Wenn die Frequenz der Herzschläge die normale ist, dann folgen die Contractionen so schnell auf einander, dass eine genaue Beobachtung des Ablaufs der Contraction erschwert ist. Durch die Abkühlung nach Eröffnung des Thorax wird die Frequenz allerdings schon geringer und so die Beobachtung erleichtert. Sollte das noch nicht genügen, so kann man durch Vagusreizung (siehe Kapitel XLVII) die Frequenz noch mehr vermindern.

Actionsstrom des Herzmuskels. Dieselbe wird in derselben Weise mit dem physiologischen Rheoskop nachgewiesen, wie es früher am Froschherz (S. 214) gemacht wurde.

Sollte das Herz für die Beobachtung noch nicht genügend frei liegen, so kann man noch einen Theil der über dem Herzen liegenden Brustwand, des Sternums oder das ganze Sternum herausschneiden. Sollte man dabei die Arteria mammaria verletzen, so muss man sie mit Klemm- oder Schieberpincette zu fassen suchen und abbinden. Findet bei der Operation Eröffnung der Pleurahöhle statt, so muss man künstliche Athmung (siehe Kapitel XLVII) einleiten, um das Thier am Leben zu erhalten. Wenn man nicht genügend sicher ist, die Operation ohne Verletzung der Pleura ausführen zu können, so bereitet man sich am besten vor Beginn der Operation auf die künstliche Athmung so weit vor, dass man sie im Nothfalle ohne Zeitverlust einleiten kann: Man legt die Kanüle in die Trachea ein und hält den Blasebalg und Gummischlauch bereit.

Nach dem Versuche wird das Thier durch Genickschlag oder durch Verbluten nach Anschneiden eines grossen Gefässes getödtet.

XLI. Kapitel.

Spitzenstoss beim Menschen.

Im fünften Intercostalraume links nahe der Brustwarze fühlt der aufgelegte Finger das rhythmische Anstossen der Brustwand, das durch die Thätigkeit des Herzens bedingt ist.

Graphische Registrirung des Spitzenstosses. Diese geschieht meist durch das Luftübertragungsverfahren.

Princip des Luftübertragungsverfahrens. Zwei Gummiblasen seien mit einander verbunden durch einen Gummischlauch, Blasen und Schlauch sind mit Luft gefüllt. Drückt man auf die eine Blase, so wird dadurch ein Theil der Luft in den Schlauch und weiter in die zweite Blase getrieben, die sich dann ausdehnt. Diese Ausdehnung wird graphisch registrirt.

Bei der Anwendung des Verfahrens erhält die erste Blase eine zur Aufnahme der zu registrirenden Bewegung passende Form (Näheres darüber bei der genaueren Beschreibung der speciellen Anwendungen); die zweite Blase muss so eingerichtet werden, dass ihre Bewegung auf einen Schreibhebel übertragen wird. Die gebräuchlichen Formen des Schreibapparats sind:

1. Die Registrirtrommel von Marey. Ein flacher Metallteller m (in Fig. 124a von oben, 124b von der Seite gesehen), der an seinem Boden eine Oeffnung mit Ansatzstück a für den Gummischlauch hat, ist überspannt mit einer dünnen Kautschukmembran, auf deren Mitte ein leichtes kleines Metallplättchen p mit senkrecht darauf stehendem Stäbchen aufgeklebt ist. Das Stäbchen ist an seinem oberen Ende gelenkig verbunden mit einem leichten Zeichenhebel z. Bläst man in den Teller von a aus Luft ein, so bläht sich die Gummimembran auf und hebt den Zeichner in die Höhe. Die Bewegung des Zeichners giebt die Bewegung der Membran vergrössert wieder. Der Grad der Vergrösserung kann variirt werden durch Verstellen der Schraube s_1; dadurch wird die Entfernung des Angriffspunkts des auf der Membran senkrecht stehenden Stiftes am Zeichenhebel von der Drehungsaxe des Hebels verändert. Eine Schraube bei s_2 dient zur Verstellung der Schreib-

spitze in verticaler Richtung. Der Theil bei b in Fig. 124a dient zur Befestigung am Stativ.

Die beschriebene Form ist die von Marey zuerst angegebene Kapsel. Seitdem sind mancherlei andere Formen von anderen Autoren angegeben, die aber nicht besser sind als die alte Marey'sche. Ueber die Leistungsfähigkeit der Marey'schen Trommel und ihrer Nachahmungen siehe: K. Hürthle, Kritik des Luftübertragungsverfahrens: Pflüger's Archiv für die ges. Physiologie Bd. 53, S. 281. Das Ergebniss der Untersuchung Hürthle's ist, dass der alte Marey'sche Apparat, sowie neue nach Hürthle's Angaben von dem Mechaniker Albrecht in Tübingen verfertigte für den vorliegenden

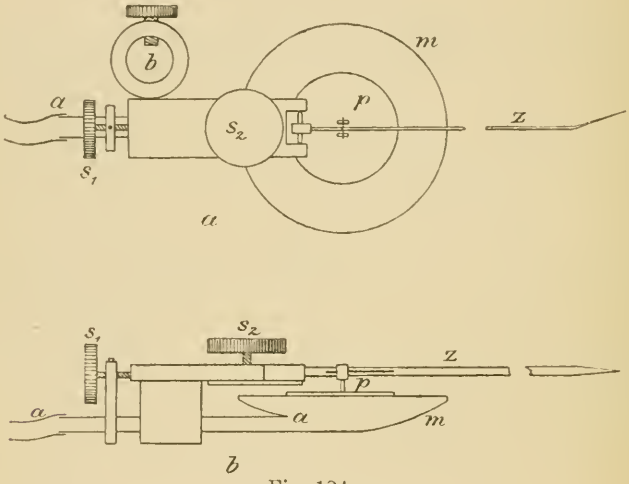


Fig. 124.

Zweck leistungsfähige Instrumente sind, falls man den Grad der Vergrösserung so einrichtet, dass die vom Spitzenstoss gelieferte Curve nicht höher als 10 mm emporgeht. Vor dem Gebrauch einiger Nachahmungen der Marey'schen Registrirtrommel, z. B. der Knoll'schen und der Grunmach'schen, muss dagegen gewarnt werden, weil sie ungetreue Zeichnungen geben. Der Leitungsschlauch soll etwa 3—5 mm Lumen haben und eine Wanddicke von 1—1,5 mm. Seine Länge ist beliebig.

2. Der Piston-Recorder, von Ellis (Journal of physiology Bd. VII, S. 309) angegeben, von Johansson und Tigerstedt (Skandinavisches Archiv f. Physiol. Bd. I, S. 345) und später von Hürthle (Pflüger's Archiv f. d. ges. Physiol., Bd. 53, S. 301)

verbessert; von letzterem auch noch auf seine Leistungsfähigkeit untersucht.

Er besteht aus einem senkrecht gestellten Glascylinder (g, Fig. 125), in dem sich ein leichter Stempel a ohne Reibung, aber luftdicht schliessend bewegt. Die Bewegung des Kolbens wird erleichtert und der Verschluss erzielt durch ein leicht flüssiges Oel, mit dem die Wand benetzt wird. An dem Kolben ist ein gelenkig mit ihm verbundenes, senkrecht stehendes Stück s angebracht, das mit seinem oberen Ende gelenkig verbunden wird mit dem Zeichen-

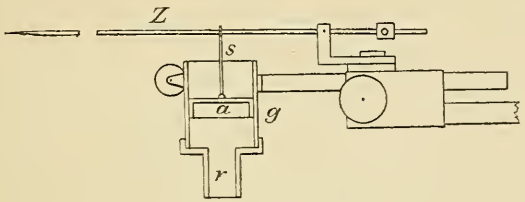


Fig. 125.

hebel z. Das untere Ende des Glascylinders geht in eine Röhre r über, an die der Verbindungsschlauch angebracht wird. Bläst man Luft in den Cylinder ein, so wird der Stempel und damit auch der Zeichner gehoben.

Die Ausschläge des Piston-Recorders sind proportional den Volumänderungen, während bei der Marey'schen Trommel die Ausschläge bei gleicher Volumänderung im Aufnahmeapparat um so kleiner sind, je stärker die Membran der Registrirtrommel durch vorangehende Ausdehnung schon gespannt ist. Auch der Piston-Recorder liefert nach Hürthle's Untersuchungen gute Resultate.

Damit während des Anlegens des Aufnahmeapparats an die Stelle, deren Bewegung registrirt werden soll, der Stand des Zeichners sich nicht ändert, wird die Verbindung zwischen Aufnahmeapparat und Schreibapparat erst hergestellt, wenn der Aufnahmeapparat angelegt ist. Man kann sich das bequemer machen dadurch, dass man in den Leitungsschlauch ein T-Rohr einschaltet, an dessen freibleibender Oeffnung ein kurzes Stück Gummischlauch angebracht ist, das durch eine Klemme geschlossen wird, wenn die Aufstellung zum Versuch fertig ist.

Eine diesem Zweck dienende Vorrichtung ist auch das **Kardiographen-Ventil von Marey** (Fig. 126). Es besteht ebenfalls in einer T-Röhre, die in den Gummischlauch eingeschaltet wird bei a und b.

Die freie Oeffnung c wird hier durch eine federnde Hebelvorrichtung h verschlossen und durch Druck auf den Hebel h geöffnet.

Aufnahmekapsel für den Spitzenstoss. Sie besteht in einem Metallteller (M, Fig. 127 im Durchschnitt), durch dessen Wand eine Röhre r r nach aussen führt, die mit dem Verbindungsschlauch verknüpft wird. Der Teller ist überspannt mit einer Gummimembran, darauf ist ein leichtes Metallplättchen aufgeklebt mit einem pelottenartigen Knopf P aus Holz, Elfenbein oder Kork. Die Pelotte wird der Stelle aufgesetzt, wo der Spitzenstoss zu fühlen ist. Die Kapsel

Fig. 126.

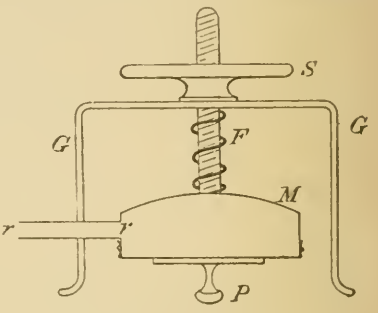


Fig. 127.

befindet sich in einem glockenförmigen Gehäuse G G, so dass die Pelotte aus der Oeffnung der Glocke hervorsieht. Zwischen der Kapsel und dem Boden des Gehäuses befindet sich eine Spiralfeder F, die die Kapsel aus der Glocke herauszudrücken sucht. Die Kapsel wird festgehalten durch eine Schraube, deren Mutter S ausserhalb der Glocke liegt. Durch Drehen an der Mutter kann die Pelotte weiter hervor- oder zurückbewegt und damit der Brustwand stärker oder schwächer angelegt werden.

Hürthle verwendet statt der Glocke einen Dreifuss, von dessen Füssen jeder eine Vorrichtung zur Verlängerung hat, so dass der Apparat stets senkrecht zum Spitzenstoss gestellt werden kann.

Versuch. Der Aufnahmeapparat wird nun der Wand der entkleideten Brust eines aufrecht stehenden Menschen so aufgesetzt, dass die Pelotte der Stelle des Spitzenstosses anliegt, und dann mit einem um die Brust herum gelegten Bande befestigt. Wenn die Pelotte gut anliegt, wird die Verbindung mit dem Schreibapparat hergestellt, resp. das Kardiographen-Ventil geschlossen. Der Versuch kann nun beginnen. Man registrirt die Curve auf die rotirende Trommel des Kymographions.

Die Curve, die man erhält, das sogenannte **Kardiogramm**, zeigt in der Regel einen auf- und absteigenden Schenkel, die durch ein Plateau verbunden sind. Im aufsteigenden und im absteigenden Schenkel findet sich in den meisten Fällen ein kleiner Knick. Das Ende des absteigenden Schenkels ist mit dem Fusspunkt der folgenden Erhebung durch eine sanft ansteigende Linie verbunden, in der meist zwei kleine Wellen zu erkennen sind.

XLII. Kapitel.

Herztöne und Registrirung derselben.

Legt man das Ohr in der Herzgegend der vorderen Brustwand eines Menschen an, so hört man zwei Töne:

1. einen dumpfen langgezogenen, entsprechend der Systole;
2. einen hellen kurzen Ton, im Beginn der Diastole.

Der erste Ton entsteht durch die Contraction des Herzmuskels und den Schluss der Atrioventricularklappen, der zweite durch den Schluss der Semilunarklappen.

Die von Hürthle[1]) angegebene Methode der **Registrirung der Herztöne** gründet sich auf die Verwendung des Mikrophons.

Princip des Mikrophons. Wenn in einen geschlossenen elektrischen Stromkreis an einer Stelle die Leitung durch zwei feste, sich berührende Kohlenstücke hergestellt ist, so nimmt der Widerstand, den der Strom an der Berührungsstelle findet, ab, wenn die beiden Kohlenstücke zusammengedrückt werden, in Folge dessen wird der Strom stärker. Lässt der Druck nach, so wird der Widerstand grösser, der Strom schwächer. Beim Mikrophon ist ein solcher Kohlencontact an einer durch Töne in Schwingungen zu versetzenden Vorrichtung angebracht. Die Schallwellen setzen das eine der Kohlenstücke in Schwingung, dadurch entstehen am Contact Druckänderungen, und dementsprechend Schwankungen der Stromstärke. Es ist möglich, diese Stromesschwankungen zu registriren.

Das von Hürthle für die Registrirung der Herztöne zweckmässig gefundene Mikrophon besteht aus einem kleinen Schalltrichter

---

[1]) Deutsche medicinische Wochenschrift 1893, Nr. 4.

(R, Fig. 128), auf dessen freies Ende eine stumpf kegelförmige Membran M aus feinstem Pergamentpapier aufgeklebt ist. Analog dem Hammer des Trommelfells ist auf dem Kegelmantel der Membran ein kleines Holzleistchen H festgeleimt, das beim Tönen der Membran in Schwingung geräth. In der Verlängerung dieses Leistchens ist der Kohlencontact angebracht, bestehend aus drei Kohlenstückchen, von welchen zwei, K_1 und K_2, eine konische Bohrung und eines, K_3, zwei konische Spitzen hat, die in die Bohrungen passen. K_1 ist durch eine Metallhülse auf das Ende des Holzleistchens gesetzt, K_2 ihm gegenüber an der Schraube S befestigt, mit deren Hilfe es K_1 genähert oder von ihm entfernt werden kann. Zwischen beiden kommt K_3 zu liegen, so dass also zwei Berührungsstellen

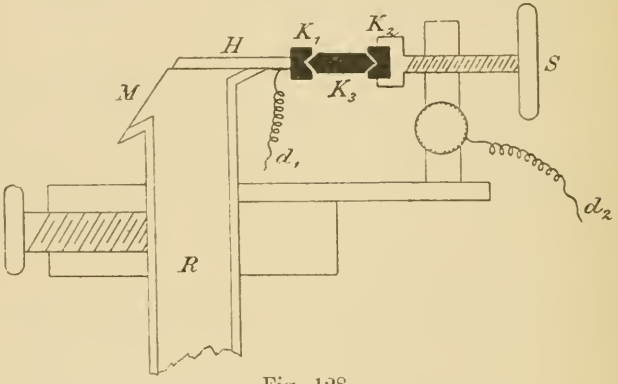


Fig. 128.

vorhanden sind, die durch die Töne erschüttert werden. Die Schraube S hat den Zweck, die Stärke des Druckes, den die Kohlenstäbchen gegen einander ausüben, genau zu reguliren, da das Mikrophon nur bei einem ganz bestimmten Druck der Contactflächen functionirt. Die beiden Drähte d_1 und d_2 stellen die Verbindung mit dem Stromkreise her.

Dieses Mikrophon wird auf die Brustwand aufgesetzt, und zwar an eine vom Spitzenstoss entfernte Stelle, so dass es von der Erschütterung desselben nicht betroffen wird. Das Mikrophon giebt nicht bloss Töne, sondern auch mechanische Erschütterungen in Form von Stromesschwankungen an. Um durch Erschütterung bedingte Fehler sicher auszuschliessen, kann man auch folgende von Einthoven und Geluk[1]) angegebene Anordnung treffen. Das Mikrophon wird

[1]) Pflüger's Archiv, Bd. 57, S. 627.

auf einem auf vier Kautschukstücken ruhenden Quaderstein befestigt. Der Quaderstein ruht auf einem steinernen isolirten Pfeiler. An demselben Pfeiler befestigt ist eine Metallröhre, deren eine Oeffnung verbunden ist durch einen Gummischlauch mit dem Schalltrichter des Mikrophons, die andere durch einen schlaff hängenden und dünnwandigen Gummischlauch mit einem Schalltrichter, den man auf die Brustwand aufsetzt. Die Metallröhre muss noch eine seitliche Oeffnung mit Ansatz haben, die durch einen Hahn verschliessbar ist. Dieser Hahn muss offen sein, damit sich durch ihn Luftdruckänderungen im Inneren der Leitung ausgleichen können. Solche Luftdruckänderungen bewirken, wenn sie nicht allzuträge sind, ebenfalls Erregung des Mikrophons. Trifft man diese Anordnung, so kann man den Schalltrichter sogar der Gegend des Spitzenstosses aufsetzen, ohne andere Stromesschwankungen zu bekommen, als die durch die Herztöne erzeugten.

Um die vom Mikrophon hervorgebrachten Stromesschwankungen nachzuweisen, schaltet man in den Strom die primäre Rolle eines Inductionsapparates ein; es entstehen dann in der secundären Inductionsströme. Verbindet man die secundäre Rolle mit einem Telephon, so kann man im Telephon die Stromesschwankungen hören. So lassen sich die Herztöne telephonisch auscultiren; sie verlieren dabei aber ihren ursprünglichen Character, indem sie eine mit der Art des Mikrophons, namentlich des Contactes wechselnde Klangfarbe annehmen.

Um die Töne graphisch zu registriren, lässt Hürthle durch die Inductionsströme einen Froschmuskel reizen. Das Nervmuskelpräparat vom Frosch, Gastrocnemius mit dem Ischiadicus, wird auf etwa 30° erwärmt — die Vorrichtung dazu ist S. 91 beschrieben —, weil es dann reizbarer ist, als bei Zimmertemperatur. Die Bewegung des Muskels wird auf die Kymographiontrommel mit Hilfe einer der bekannten Schreibvorrichtungen graphisch registrirt.

Bei der Aufstellung des Versuchs schaltet man in die secundäre Leitung sowohl ein Telephon, als den zu reizenden Nerven des Präparats ein, und ferner zwei Du Bois-Reymond'sche Schlüssel als Nebenleitungen, von denen der erste die Ströme vom Präparat, der zweite vom Telephon abblendet. Ist die Aufstellung vollendet und das Präparat erwärmt, so öffnet man den ersten Schlüssel und spricht in das Mikrophon hinein: der Muskel muss zucken. So überzeugt man sich zunächst von der Erregbarkeit des Präparats. Dann schliesst man den ersten Schlüssel, legt das Mikrophon der

Brustwand an, öffnet den zweiten Schlüssel und hält das Telephon ans Ohr. Man dreht nun an der Schraube S (Fig. 128) so lange hin und her, bis man die Stellung erreicht hat, bei der die Töne am deutlichsten zu hören sind. Nun schliesst man den zweiten Schlüssel, lässt die Trommel des Kymographions laufen und öffnet den ersten Schlüssel. Der Muskel giebt dann die Töne durch Zucken an.

Diese Registrirung der Töne hat an sich noch keinen grossen Werth; sie wird erst dadurch werthvoll, dass man gleichzeitig andere, durch die Herzthätigkeit bedingte Bewegungen, z. B. den Spitzenstoss registrirt und so bestimmt, auf welche Punkte des Kardiogramms die Herztöne fallen. Dies geschieht einfach in der Weise, dass man die im vorigen Kapitel beschriebene Aufstellung zur Registrirung des Kardiogramms bei derselben Versuchsperson macht, und die Schreibfeder der Registrirtrommel auf dieselbe Trommel zeichnen lässt, wie den vom Muskel bewegten Schreibhebel. Hürthle lässt bei dem Versuche der Bequemlichkeit halber den Muskel nicht direct am Schreibhebel angreifen, sondern ihn ziehen an der mit seiner Sehne durch einen Faden verknüpften Membran einer Aufnahmekapsel, von der aus die Bewegung durch Luftübertragung auf eine Schreibtrommel übertragen wird. Die beiden Schreibtrommeln, die eine für den Spitzenstoss, die andere für die Herztöne, werden so gestellt, dass ihre Zeichenspitzen senkrecht über einander stehen und der Trommel anliegen.

Der Ton wird nicht genau in dem Moment aufgeschrieben, in dem er entsteht, denn es vergeht eine gewisse Zeit bis zur Erregung des Mikrophons, eine weitere bis zur Zusammenziehung des Muskels und endlich kostet noch etwas Zeit die Uebertragung auf das Kymographion. Andererseits wird aber auch das Kardiogramm durch die Methode der Luftübertragung mit einer gewissen Verspätung registrirt. Es zeichnen also beide Schreibhebel mit Verspätung, und es fragt sich, wie viel mehr die Verspätung des einen beträgt, als die des anderen, denn diese Differenz muss bekannt sein, damit wir die Punkte des Kardiogramms, auf die die Herztöne fallen, richtig angeben können. Um diese Grösse zu messen, wird das Kymographion nochmals in Gang gesetzt, der Muskelschlüssel im secundären Kreis geöffnet und nun mit der Röhre des Mikrophons mehrmals sanft auf die Membran der Aufnahmetrommel für den Spitzenstoss geklopft. Am Kymographion entstehen Zeichnungen beider Hebel, die nicht genau über einander liegen. Der horizontale

Abstand der beiden so erhaltenen Marken giebt die Verspätung der Zeichnung des einen Hebels gegen die des anderen an, und wird benutzt zur Bestimmung der Punkte des Kardiogramms, die den Herztönen entsprechen.

Hürthle hat nach dieser Methode festgestellt, dass der erste Ton ziemlich genau in den Knick des aufsteigenden Schenkels des Kardiogramms fällt, der zweite in den Anfang des absteigenden.

Neuerdings haben Einthoven und Geluk (Pflüger's Archiv f. d. ges. Physiol., Bd. 57, S. 617) dies Princip verwendet, um über die Natur der Herztöne Aufschluss zu erhalten. Sie schalten in den secundären Stromkreis ein Capillarelektrometer ein und photographiren dessen Schwankungen. Die Schwankungen des Elektrometers entsprechen direct den Schwingungen, die dem Ton zu Grunde liegen. Diese Methode liefert somit auch die Grundlage für die graphische Registrirung von Herzgeräuschen.

XLIII. Kapitel.

Aufschreiben der Druckpulse. Sphygmographie.

Literatur: M. v. Frey, Die Untersuchung des Pulses. Berlin 1892.

Princip des Verfahrens. Oberflächlich liegenden Arterien (Radialis, Carotis) wird ein Schreibapparat angelegt, der direct oder durch Luftübertragung die Pulswelle auf eine bewegte Schreibfläche aufzeichnet.

Die Apparate heissen **Sphygmographen.** Erfordernisse der Sphygmographen sind:

1. Die Pulswelle muss in bedeutend vergrössertem Massstabe aufgezeichnet werden, weil die Curven wegen ihrer Kleinheit nicht alle Einzelheiten erkennen lassen würden, wenn sie die Pulswelle nur wenig vergrössert wiedergeben würden.

2. Der Schreibapparat muss möglichst wenig Trägheit besitzen, damit die Curve nicht durch Eigenbewegung desselben entstellt wird.

Diese beiden Erfordernisse widersprechen einander insofern, als Trägheitsbewegungen des Schreibapparats um so leichter ins Spiel kommen, je grösser der Grad der Vergrösserung ist. Man wählt daher die Vergrösserung zweckmässig nicht so stark, wie überhaupt möglich, sondern nur eben so, dass die Curve gut zu erkennen ist. Die Curven brauchen niemals höher als 10 mm zu

sein, um alle Einzelheiten gut erkennen zu lassen. Es sei darauf besonders aufmerksam gemacht, um dem Irrthum entgegenzutreten, dass ein Sphygmograph um so besser ist, je grössere Curven er zeichnet.

Von den zahlreichen zu dem genannten Zweck construirten Apparaten seien hier die verbreitetsten erwähnt.

I. Directe Sphygmographen.

1. Sphygmograph von Marey (ältere Form), Fig. 129. Eine auf die Arterie aufzulagernde Elfenbeinpelotte e ist befestigt an einer starken gebogenen Stahlfeder e b, durch die die Pelotte gegen

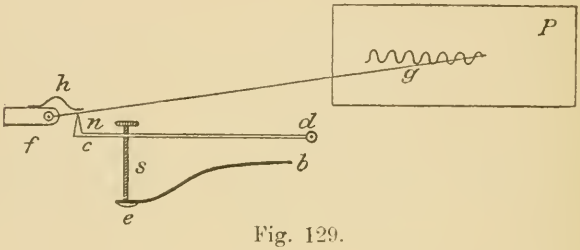


Fig. 129.

die Arterie angedrückt wird. Senkrecht auf der Pelotte steht eine Stellschraube s, deren Mutter sich am Ende eines langen Hebelarms c d befindet. Ausser der Schraube ist am Ende des Hebelarms noch eine nach aufwärts gerichtete Schneide n angebracht, welcher der leichte aus Schilf hergestellte Zeichenhebel f g aufliegt, durch eine kleine Stahlfeder h ihr angedrückt. Drückt man die Pelotte in die Höhe, so bewegt sich auch die Schraube und mit dieser die Schneide und der Zeichenhebel nach aufwärts. Durch Drehung der Schraube kann man die Schreibspitze in verticaler Richtung einstellen.

An dem Apparat befestigt ist ein kleines Uhrwerk, das durch Zahn und Trieb die Schreibfläche P — eine ebene Platte, die mit berusstem Papier überzogen ist — an der Zeichenspitze vorbei bewegt.

Die Pelotte wird der Arteria radialis angelegt, das feste Gestell des Apparats am Unterarm fixirt mit Hilfe zweier Schienen, die am Arm festgehalten werden durch ein Band, das um einige an den Schienen befindliche Häkchen geschlungen wird.

Nach dem Principe des Marey'schen Apparats sind sämmtliche andere gebräuchliche Apparate gebaut.

2. **Der Sphygmograph von Marey (neuere Form).** Auf Behier's Vorschlag hin hat Marey den Apparat so verändert (Fig. 130): Auf der Pelotte p steht die Schraube s gelenkig befestigt und liegt einem Zahnrad Z an, das an der Axe des Schreibhebels h sich

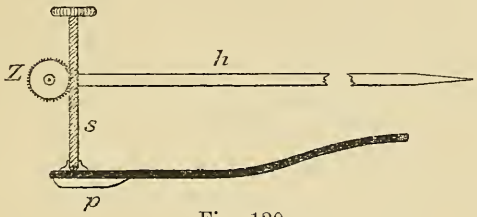


Fig. 130.

befindet. Die Schraubengänge greifen in die Zähne des Zahnrads so ein, dass bei der Aufwärtsbewegung der Schraube das Zahnrad und damit die Axe gedreht wird und so der Zeichner nach aufwärts bewegt wird.

Um während des Anlegens des Apparats an den Unterarm den Zeichner nicht in Bewegung zu setzen und um den Apparat zu schonen, wird die Schraube vorher umgekippt, so dass sie nicht am Zahnrad angreift. Erst wenn der Apparat richtig liegt, legt man die Schraube dem Zahnrad an.

Es ist bei diesem Apparate der ganze Hebelarm c d (Fig. 129) des alten Apparats von Marey fortgefallen.

3. **Apparat von Mach** (Fig. 131). Die Pelotte p ist mit dem Zeichenhebel in directer fester Verbindung durch ein gelenkig mit beiden verbundenes Stück s. Auch hier fehlt der Hebel c d (Fig. 129) zwischen Pelotte und Zeichenhebel des alten Marey'schen Apparats. Der Schreibhebel h wird eingestellt durch Drehen an der Schraube F, wodurch seine bei a befindliche Axe in senkrechter Richtung verschoben wird.

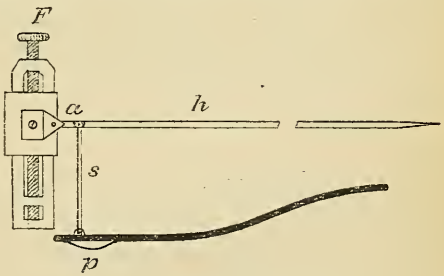


Fig. 131.

4. Apparat von v. Frey. Die Schiene, durch die das Gestell des Sphygmographen dem Unterarm angelegt wird, ist von diesem Gestell abzunehmen. Sie hat die Gestalt eines Metallrahmens von geeigneter Form mit gefütterten Backen, der mit Bändern befestigt wird. Man legt erst die Schiene dem Unterarm an. Auf der oberen ebenen Fläche des Rahmens lässt sich nun das Gestell des Sphygmographen ausreichend verschieben, bis der beste Ort für die Pelotte gefunden ist, worauf durch Anziehen einer Schraube die gewählte Stellung festgehalten wird. Dadurch wird die genaue Einstellung der Pelotte auf den richtigen Punkt sehr erleichtert.

Die Uebertragung der Bewegung von der Pelotte auf die Zeichenfeder geschieht wie bei dem Mach'schen Apparat. Das Zwischenstück, das die Bewegung der Pelotte auf den Schreibhebel überträgt, ist mit der Pelotte aber nicht fest in dem Gelenke verknüpft, sondern es kann von ihr abgehoben werden. Das geschieht, damit während des Anlegens der Pelotte an die Arterie der Apparat geschont wird. Liegt die Pelotte richtig, so wird das Zwischenstück eingefügt. Durch eine besondere Schraube kann die Feder, an deren Ende die Pelotte sich befindet, mit beliebiger Kraft gegen die Arterie angedrückt und so der elastische Widerstand verändert werden, den die Feder dem Pulse entgegenstellt.

Am Apparat ist zur Zeitregistrirung ein kleiner Elektromagnet angebracht, der durch einen selbstständigen Unterbrecher von 20 Schwingungen in der Secunde in Bewegung gesetzt wird und dessen Bewegung mit aufgezeichnet wird.

Als Schreibfläche wird eine durch Uhrwerk getriebene kleine Trommel benutzt. Um eine möglichst zarte Berührung zwischen Schreibspitze und -fläche zu erreichen, wird die Trommel mit dem Uhrwerk durch eine Schraube ohne Ende gegen die Zeichenspitze hin verstellt.

5. Sphygmograph von Dudgeon (Fig. 132). Die Bewegung der an der Feder F befindlichen Pelotte P wird zunächst auf den Winkelhebel F_1 übertragen, mit dem sie durch eine Oese a verbunden ist, und von da durch die Verbindung an der Oese b auf den Winkelhebel F_2. Das Gegengewicht g an letzterem sorgt für innige Berührung der Stücke. Der Schreibstift s ist mit dem Ende von F_2 gelenkig verbunden und liegt durch sein eigenes Gewicht der horizontalen Papierfläche A an. Der Dudgeon'sche Sphygmograph hat das Missliche, dass bei ihm Hebel, Schreibstift und

Gegengewicht aus Metall gearbeitet sind und in Folge dessen die Trägheit des Schreibapparats nicht so weit verringert werden kann als die der leichten Schreibhebel bei den vorher beschriebenen Apparaten.

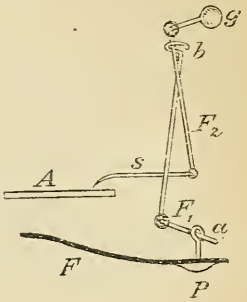


Fig. 132.

Die Bewegung des berussten Papierstreifens, auf dem gezeichnet wird, geschieht zwischen zwei horizontal gestellten Walzen, ebenso wie die Bewegung eines Blechs zwischen den Walzen des Walzwerks. Die Walze auf der berussten Seite des Papiers liegt allerdings dem Papier nicht direct an, sondern drückt es mit Hilfe zweier an ihrer Axe befestigten Rädchen gegen die andere Walze an. Die Walzen werden von dem am Apparat befindlichen Uhrwerk getrieben. Durch eine Scheibe, die um eine excentrisch gelegene Axe drehbar ist und der Feder anliegt, kann die Feder beliebig stark der Arterie angedrückt werden.

6. **Apparat von Jaquet.** Dem Dudgeon'schen ähnlich gebaut mit besonderer Vorrichtung zum Markiren der Zeit. Ein Uhrwerk, das sich in demselben Kasten befindet, wie das den Papierstreifen bewegende, zeichnet durch einen kleinen Registrirhebel auf der Schreibfläche Marken in $\frac{1}{5}$ Secunde Intervall.

7. **Gewichtssphygmographen.** Bei einigen Apparaten (Landois, Dudgeon-Richardson) ist statt der Stahlfeder ein Gewicht benutzt zum Andrücken der Pelotte gegen die Arterie. Diese Apparate haben das Bedenkliche, dass bei ihnen leichter die Curve entstellende Trägheitsschwingungen auftreten können, als bei den Federsphygmographen.

8. Für Laboratoriumszwecke hat man Sphygmographen hergestellt, bei denen die Schreibfläche nicht mit dem Apparat gleich verbunden ist, sondern die zum Zeichnen auf die Kymographiontrommel eingerichtet sind. Solche Apparate sind unter anderem der dem neuen Apparate Marey's ähnliche Laboratoriumssphygmograph von Ludwig, ferner der nach dem Principe des Mach'schen Apparats construirte Sphygmograph von Hürthle. Letzterer (beschrieben bei E. Hirschmann, Pflüger's Archiv f. d. ges. Physiol., Bd. 56) besitzt auch Vorrichtungen, die es gestatten, den Puls von

der blossgelegten Arterie bei Thieren aufzunehmen, sowie Messungen der pulsatorischen Durchmesserschwankungen der Arterien anzustellen.

II. Sphygmographie nach dem Princip des Luftübertragungsverfahrens. Transmissionssphygmographen.

Eine Aufnahmekapsel ähnlich der zur Kardiographie verwendeten ist dazu nöthig. Der Pelottenknopf wird auf die Stelle der stärksten Pulsation der zu untersuchenden Arterie aufgesetzt. Zur Befestigung der Kapsel dienen besondere Trommelhalter.

Es seien erwähnt: der Trommelhalter von Brondgeest, bei dem die Kapsel durch einen metallenen Bügel festgehalten wird, der durch Bänder an die Extremität befestigt werden kann; die Trommelhalter für den Carotispuls von Edgren (Skandinavisches Archiv f. Physiol., Bd. 1), von Hürthle (Pflüger's Archiv, Bd. 49).

Auch kann man den Puls, wie bei den directen Sphygmographen, erst auf eine Feder übertragen und dann erst auf eine Aufnahmekapsel.

Marey selbst hat einen derartigen Apparat angegeben, dessen Gestell mit Feder und Pelotte gerade so beschaffen ist, wie bei seinem Sphygmographen. Die Pelotte überträgt durch ein Zwischenstück ihre Bewegung auf die Membran einer Aufnahmekapsel, statt direct auf den Zeichenhebel.

Aehnliche Apparate sind angegeben von Knoll und Anderen.

Die Verbindung der Aufnahmekapsel mit der Registrirtrommel und die Aufzeichnung der Curven geschieht gerade so wie bei der Registrirung des Spitzenstosses.

Als Polygraphen bezeichnet man Vorrichtungen, die alle zur graphischen Untersuchung von Spitzenstoss und Arterienpuls beim Menschen nöthigen Instrumente in compendiöser Form enthalten, also Uhrwerk mit rotirendem Cylinder, Registrirtrommeln, Aufnahmekapseln, Zeitschreiber.

Solche Apparate sind angegeben von Marey, von Meurisse und Mathieu, von Knoll, von Grunmach. Es sei hier aber auch betreffend der Trommeln von Knoll und Grunmach an das S. 232 Bemerkte erinnert.

Statt der Aufnahmekapsel kann man auch einfach einen kleinen Trichter von passender Grösse nehmen, dessen weite Oeffnung man der zu untersuchenden Arterie (besonders geeignet für die Carotis im Trigonum colli anterius) luftdicht aufsetzt. Die enge Oeffnung des Trichters wird durch einen Gummischlauch mit der Registrirtrommel verknüpft. Jedesmal, wenn in Folge der Pulswelle die Arterie sich ausdehnt, wölbt sie sich in den Trichter

stärker hinein und vertreibt dadurch einen Theil der Luft in die Registrirtrommel. Dadurch wird der Zeichner bewegt.

Für einen kurzdauernden Probeversuch genügt es, den Trichter mit der Hand festzuhalten; will man ihn längere Zeit liegen lassen, so befestigt man ihn mit einem Bande in passender Lage am Halse.

Ausführung des Versuchs. Man legt einen der beschriebenen Apparate der zu untersuchenden Arterie an. Wird die Radialis benutzt, so muss man den Vorderarm in eine bequeme Lage bringen, in der er leicht ruhig gehalten werden kann. Man legt ihn am einfachsten einem zusammengefalteten Handtuch auf. Es giebt übrigens auch besonders zu dem Zwecke hergestellte Lager oder Stative mit Armhalter.

Nun stellt man die Zeichenfeder ein und überzeugt sich, dass sie sich dem Puls entsprechend bewegt. Geschieht das nicht, so liegt der Apparat nicht richtig; man hat dann die Pelotte so zu verschieben, bis man die richtige Stelle trifft. Alsdann setzt man die Schreibfläche in Bewegung und registrirt die Curve.

Die **normale Pulscurve** hat einen steilen Anstieg, ziemlich spitzen Gipfel, weniger steilen Abstieg und im Abstieg häufig mehrere kleine Wellen. Eine davon tritt etwa in der Mitte des Abstiegs immer auf; es ist das die sogenannte **dikrote Erhebung**.

XLIV. Kapitel.

Aufschreiben von Volumpulsen. Plethysmographie.

Es sollen die durch die Pulswellen bedingten Volumänderungen einer Extremität registrirt werden.

Die Extremität, z. B. der Arm, wird in einen Blechärmel B (Fig. 133) gesteckt, d. i. ein der Grösse der Extremität entsprechender, an einem Ende verschlossener Blechcylinder, an dessen offenem Ende eine Gummimanschette M so angebracht ist, dass sie sich dem Arme luftdicht anschliesst. Statt einer einfachen engen Gummimanschette kann man auch eine

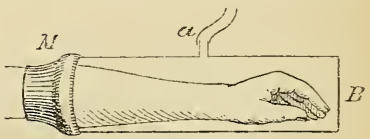


Fig. 133.

weitere nehmen mit doppelter Wand. Der Hohlraum der doppelten Wand wird von aussen her durch ein Ansatzstück in Form eines Stück Gummischlauchs mit Luft aufgeblasen, so dass sich die Manschette dem Arm luftdicht anschmiegt, und nun das Ansatzstück mit Klemmpincette geschlossen.

An der Seite des Blechärmels befindet sich eine Oeffnung mit Ansatz a, an der der Leitungsschlauch für das Luftübertragungsverfahren angebracht ist. Alles weitere wie bei der Kardiographie.

Während des Versuchs muss der Arm ruhig gehalten werden. Man lässt die Versuchsperson daher an einem Tische sitzen und den Arm mit dem Blechärmel auf den Tisch auflegen, oder sie stellt sich aufrecht und lässt den Arm schlaff herunterhängen.

Die erhaltenen Curven, die sogenannten Volumpulse, sind den Sphygmogrammen ähnlich, aber nicht genau mit ihnen identisch; letzteres wären sie nur dann, wenn die Pulswelle sich gleichzeitig und mit derselben Stärke in allen Theilen des Armes geltend machen würde, was aber nicht der Fall ist.

Statt des mit Luft gefüllten Plethysmographen sind auch solche zu Untersuchungen benutzt worden, die mit Wasser gefüllt waren, z. B. die ursprünglich von Fick angegebene Form, ferner der Plethysmograph von Mosso und der von Kronecker.

XLV. Kapitel.

Aufzeichnung von Strompulsen. Tachographie.

Die Aenderungen, die die Stromgeschwindigkeit in den Extremitäten durch die Pulswellen erleidet, lässt sich in folgender Weise indirect aus den Curven der Volumpulse feststellen. Man construirt eine Curve, deren Ordinaten die Steilheit ausdrücken, mit der die Volumpulscurve steigt oder sinkt. Das geschieht so. Man zieht durch eine Anzahl von Punkten der Volumcurve Tangenten an die Curve und berechnet mit Hilfe derselben die trigonometrischen Tangenten der Winkel, welche diese Tangenten mit der Abscissenaxe bilden. Die erhaltenen trigonometrischen Tangenten, die ja Zahlen sind, stellt man dar durch Linien, deren Längen den Zahlen proportional gesetzt werden. Diese Linien werden als Ordinaten aufgetragen

in den Punkten der Abscisse, die den Punkten der Volumcurve entsprechen, an welche man die Berührungslinien gezogen hat. Dabei werden die Ordinaten positiv gesetzt, also von der Abscissenaxe nach oben abgetragen, wenn die Volumcurve steigt, nach unten, wenn sie sinkt. Verbindet man die Endpunkte der so erhaltenen Ordinaten durch eine Curve, so ist das die gesuchte Curve.

Diese Curve, die Stromcurve oder die Geschwindigkeitscurve, **Tachogramm**, hat folgende Bedeutung. Sie giebt für je einen Zeitpunkt die Differenz zwischen Zufluss und Abfluss des Blutes in der Extremität an. Fliesst gerade so viel Blut zu, wie ab, so ist die Differenz gleich 0; würde das längere Zeit hindurch der Fall sein, so würde sich das Volum während dieser Zeit nicht ändern, mithin der Plethysmograph eine der Abscissenaxe parallele Gerade zeichnen, die Steilheit der plethysmographischen Curve auch gleich 0 sein. Fliesst mehr Blut zu, wie ab, so steigt die plethysmographische Curve an, und zwar um so steiler, je grösser die Geschwindigkeit ist, mit der das Blut zufliesst, weil dem entsprechend auch das Volum der Extremität wächst. Je grösser aber die Steilheit des Plethysmogramms, desto höher geht das Tachogramm hinauf. Das umgekehrte findet statt, wenn mehr Blut ab- wie zufliesst — hier geht das Tachogramm nach unten von der Abscissenaxe. Die Aenderungen der Stromgeschwindigkeit bezieht man bloss auf die Strömung in den Arterien, weil man annehmen darf, dass der Abfluss durch die Venen immer mit gleicher Strömungsgeschwindigkeit vor sich geht.

Flammentachograph von v. Kries[1]). Die eben beschriebene Curve, das Tachogramm, wird nach v. Kries direct aufgezeichnet in folgender Weise.

Denken wir uns die Hand und einen Theil des Arms nach Art der plethysmographischen Methode in einen Blechärmel eingeschlossen, diesen aber durch eine Oeffnung mit der äusseren Luft communicirend, so muss bei den Volumschwankungen durch diese Oeffnung abwechselnd Luft hinausgetrieben und wieder eingesogen werden. Bei hinreichend weiter Oeffnung entspricht die Stärke des Luftstroms der Geschwindigkeit, mit der das Volum des Armes zu- oder abnimmt. Die Stärke dieses Luftstromes wird nun in folgender Weise zur Anschauung gebracht: Aus der Spitze des

[1]) Du Bois-Reymond's Archiv f. Physiol. 1887, S. 254.

Röhrchens A (Fig. 134) brenne eine Gasflamme, die durch den Schlauch B aus der Gasleitung gespeist wird. Der vom Gas erfüllte Raum des Röhrchens A ist durch die Schlauchleitung C verbunden mit dem Blechärmel. Die Stärke des Gasstromes, der durch die Oeffnung A austritt, setzt sich unter diesen Umständen zusammen aus dem constanten Theile aus der Gasleitung und der periodisch wechselnden Strömung aus dem Plethysmographen heraus und in ihn hinein, die durch die Pulsbewegung hervorgebracht sind. Jedesmal nun, wenn Luft aus C in A übertritt, zuckt die Flamme in die Höhe, wenn Luft in C eingesogen wird, zuckt sie nach unten, dagegen bleibt sie in Ruhe, wenn gar keine Luft aus C austritt oder eintritt. Der Betrag, um den die Flamme steigt oder sinkt, entspricht der Stärke des Luftstromes in C und diese Stärke ist abhängig von der Geschwindigkeit der Volumänderung des Arms, nicht von der Volumänderung selbst. Die gleiche Volumänderung kann das eine Mal die Flamme kaum, das andere Mal sehr stark bewegen, wenn sie das erste Mal langsam, das zweite Mal schnell vor sich geht.

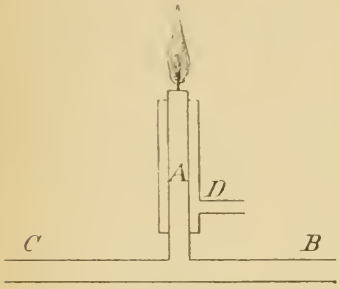


Fig. 134.

Zuckt die Flamme sehr stark nach unten, so kann es leicht geschehen, dass sie erlischt. Um dies zu verhindern, sind neben dem Hauptzündloch noch einige kleine angebracht, die von einem Gasrohre D aus gespeist werden, in dem das soeben beschriebene A steckt, dabei aber ganz von ihm getrennt ist. Das Gasrohr D für die Zündflamme muss daher auch durch eine besondere Schlauchleitung mit Gas versorgt werden.

Die Bewegungen der Flamme werden photographirt. Es wird von der Flamme durch ein photographisches Objectiv ein umgekehrtes, reelles Bild auf einen Spalt von 0,25 mm Breite und durch diesen auf eine dicht dahinter befindliche lichtempfindliche Platte geworfen, die an dem Spalt vorbei bewegt wird. Die Mitte des Flammenbildes muss auf den Spalt fallen. Der Spalt ist zunächst geschlossen, er wird erst bei Beginn des Versuches durch einen Schieber geöffnet. Um bei verschlossenem Spalt seine Lage zwecks genauer Einstellung der Flamme erkennen zu können, ist auf dem Schieber aussen die Lage des Spaltes durch einen Strich ange-

deutet. Auf diesen Strich wird das Flammenbild eingestellt. Der Spalt befindet sich in einer Kapsel, die lichtdicht über die rotirende Trommel gestülpt ist, so dass nur durch den Spalt Licht auf die dicht dahinter befindliche Trommelfläche fallen kann.

Brenner, Objectiv, Kapsel mit Spalt und Uhrwerk mit Trommel werden alle an einer eisernen Schiene in bestimmter Stellung befestigt, die so gewählt ist, dass das Bild der Flamme genau auf die Trommelfläche fällt.

Die Trommelfläche wird überzogen mit lichtempfindlichem Papier. Das Papier wird auf die Trommel nicht aufgeklebt, sondern festgehalten durch eine Feder. Das Ueberziehen der Trommel mit dem Papier hat im Dunkelzimmer zu geschehen. Man kann dazu das Uhrwerk mit der Trommel und der darüber gestülpten Kapsel nach Lockerung eines Riegels von der Schiene abheben. Im Dunkelzimmer spannt man das Papier auf die Trommel, setzt dieselbe danach dem Uhrwerk auf und stülpt die Kapsel mit verschlossenem Spalt darüber. Danach kann man das Uhrwerk wieder ans Tageslicht bringen. Es wird der Schiene wieder aufgesetzt und an ihr befestigt.

Der Versuch wird bei Tageslicht angestellt. Damit zwischen Objectiv und Spalt kein fremdes Licht eindringen und zum Spalt hingelangen kann, wird vor Beginn des Versuches, nachdem man sich überzeugt hat, dass die Flamme richtig steht, durch eine am Objectiv befindliche ausziehbare Hülse der Raum zwischen Spalt und Objectiv nach aussen lichtdicht abgeschlossen. Hinter der Flamme stellt man einen schwarzen Schirm auf, um auch von da fremdes Licht abzuhalten.

Aus dem Gehäuse des Uhrwerks ragen noch aussen hervor:

1. ein in horizontaler Richtung hin und her zu bewegender Hebel zum Aufziehen des Uhrwerks;

2. ein in verticaler Richtung verstellbarer Hebel, der es gestattet, der Trommel zwei verschiedene Geschwindigkeiten zu geben; die kleine Geschwindigkeit beträgt 11 mm in 1 Secunde, die grosse 25 mm;

3. ein in horizontaler Richtung beweglicher Hebel zum Loslassen oder Arretiren des Uhrwerks;

4. ein Knopf mit einer daran befindlichen verschiebbaren Stahlstange. Ist diese Stahlstange in das Gehäuse des Uhrwerks hineingedrückt, so stösst ein an der Trommelaxe befindlicher Zapfen bei der Bewegung der Trommel gegen sie an und dadurch wird

die Weiterbewegung der Trommel gehemmt. Mit Hilfe dieser Vorrichtung lässt sich bewirken, dass die Trommel sich genau einmal und nicht mehr umdreht, ohne dass man dazu die Trommel selbst beobachten muss. Das wird so gemacht:

Man drückt vor Beginn des eigentlichen Versuchs die Stahlstange ins Gehäuse und setzt die Trommel in Bewegung. Die Uhr steht still, sobald der Zapfen der Trommelaxe an die Stahlstange anstösst. Nun arretirt man das Uhrwerk durch den besonders dazu dienenden Hebel und kann nun die Stahlstange ausziehen. Beim Versuch selbst wird das Uhrwerk zunächst in Gang gesetzt von dem dazu dienenden Hebel aus. Einige Secunden nachdem es begonnen hat sich zu bewegen, stösst man nun die Stahlstange ins Gehäuse hinein, dann wird das Werk still gestellt, wenn der Zapfen wieder an die Stange anstösst, also dann, wenn die Trommel nach einmaliger Umdrehung genau auf dem Stand wieder angekommen ist, von dem sie ausgegangen war.

Neben den Strompulsen werden auch Zeitmarken registrirt in folgender Weise:

Eine zweite Flamme steht auf einem Seitenarm der Schiene; ihre Strahlen werden von einem kleinen Spiegel so reflectirt, dass ein Bild von ihr durch die Linse auf den Spalt über das Bild der Pulsflamme entworfen wird. An dem Pendel eines Metronoms wird ein Stück Papier befestigt und das Metronom neben der Zeitflamme so aufgestellt, dass das Papier in regelmässigen Perioden — dem Schlage des Metronoms entsprechend — die Zeitflamme gegen den Spiegel hin für kurze Zeit verdeckt.

Anstellen des Versuchs. Nachdem die Trommel im Dunkelzimmer mit lichtempfindlichem Papier überzogen, die Kapsel übergestülpt, der Spalt verschlossen ist, setzt man bei Tageslicht das Uhrwerk auf die Schiene und stellt es fest. Der Arm der Versuchsperson wird in den Blechärmel gebracht, die Flammen werden angezündet und in passender Weise so hoch geschraubt, dass ihr Bild auf den Spalt richtig auffällt. Dann setzt man das Metronom in Bewegung und verschliesst den Raum zwischen Spalt und Objectiv. Wenn die Schwankungen der Flamme gleichmässig sind, öffnet man den Spalt und lässt das Uhrwerk in der beschriebenen Weise einmal umlaufen. Wenn die Trommel wieder still steht, was man an dem Aufhören des hörbaren Gangs des Uhrwerks merkt, so verschliesst man den Spalt, nimmt das Uhrwerk ab, geht

damit ins photographische Dunkelzimmer und nimmt das lichtempfindliche Papier zum Entwickeln heraus.

Kurze Notizen über die Photographie. Die Kenntniss des Folgenden reicht nöthigen Falls zur Entwicklung der Curve in dem beschriebenen Versuche aus. Näheres ist aus den Lehrbüchern der Photographie zu entnehmen.

Die lichtempfindliche Substanz des Papiers ist Bromsilber, das in einer feinen, dem Papier aufliegenden Gelatineschicht suspendirt ist. Durch die Einwirkung des Lichtes erleidet das Bromsilber Zersetzungen, deren Chemismus noch nicht genau bekannt ist. Es bilden sich dabei complicirte Verbindungen von Brom mit Silber. Diese sehen wie das Bromsilber selbst weiss aus, können aber durch reducirende Substanzen leichter als Bromsilber zersetzt werden, so dass sich freies Silber abscheidet und die belichteten Stellen der Platte schwarz färbt. Die reducirenden Substanzen, die zu diesem Process verwendet werden, nennt man „Entwickler". Es giebt eine grosse Zahl von Entwicklern, die man sich selbst herstellt oder fertig kauft. Hier können nur einige wenige erwähnt werden, die für unseren Zweck geeignet sind. Z. B. sind zu nennen:

1. Pyrogallusentwickler.

Lösung A: 15 g Pyrogallussäure,
2 g concentrirte Schwefelsäure,
gelöst in 1000 ccm destillirten Wassers.
Lösung B: 200 g schwefligsaures Natron (unverwittert),
120 g Soda,
gelöst in 1000 ccm destillirten Wassers.

Zum Gebrauch mischt man 1 Theil A mit 1 Theil B und 2 Theilen Wasser.

2. Hydrochinon-Entwickler.

150 ccm destillirtes Wasser,
6 g Hydrochinon,
40 g schwefligsaures Natron (unverwittert),
50 g kohlensaures Kali.

Man löst erst das schwefligsaure Natron, dann das Hydrochinon, dann das kohlensaure Kali. Zum Gebrauch verdünnt man diesen Entwickler mit der 4—6fachen Wassermenge.

Von den fertig käuflichen Entwicklern seien genannt: der sogenannte „Cristallos", das „Rodinal". Gebrauchsanweisung wird beigegeben.

Das Ueberziehen der Trommel mit dem Papier, sowie das Entwickeln geschieht bei rothem Licht in der Dunkelkammer, weil rothes Licht das Bromsilber nicht zersetzt.

Zum Entwickeln wird das lichtempfindliche Papier zuerst in Wasser gelegt, um es feucht zu machen, damit es sich nicht rollt, dann in eine Schaale von passender Form. Nun wird der Entwickler schnell darüber gegossen und unter stetigem Hin- und Herschaukeln der Schaale so lange über dem Papier gelassen, bis die Zeichnung scharf hervorgetreten ist. Dann wird das Papier aus dem Entwickler herausgenommen.

Es kommt jetzt ins Fixirbad; dieses besteht aus einer Lösung von Natriumhyposulfit (das sogenannte Fixirnatron) in Wasser (3 : 10). In dem Fixirbad wird alles Bromsilber, das beim Belichten und Entwickeln noch nicht zersetzt wurde, ausgewaschen, so dass danach keine Zersetzung durch das Licht mehr eintreten kann. Schliesslich wird das Papier in Wasser gründlich gewaschen (am besten in fliessendem Wasser etwa 2 Stunden hindurch) und getrocknet.

Das lichtempfindliche Papier, das zu unseren Versuchen benutzt werden kann, ist entweder Positivpapier oder Negativpapier.

Beim Positivpapier liegt die Gelatineschicht undurchsichtigem weissem

Papier auf. Die erhaltene Curve ist schwarz auf weissem Grunde. Solches Papier ist z. B. das von v. Kries empfohlene Papier: Qualité B des Papiers au gélatinobromure d'argent von D. Hutinet in Paris.

Von besonderem Vortheil sind aber auch solche Papiere, bei denen die Bromsilbergelatineschicht auf durchsichtigem Papier, etwa Celluloidhäuten, aufgetragen sind, z. B. Eastman's Transparent Films. Diese werden an den unbelichteten Stellen nach dem Fixiren klar durchsichtig, verhalten sich also wie die Negativplatten, und man kann von ihnen nach dem Positivverfahren leicht beliebig viele Abdrücke nehmen. Es wird beim Positivverfahren das Negativ einem anderen lichtempfindlichen Papier (meist wird Chlorsilbergelatinepapier verwendet) aufgelegt und so dem Licht ausgesetzt. Das Chlorsilber zersetzt sich, an den belichteten Stellen färbt es sich dunkelroth bis schwarz. Das Positiv wird ebenso wie das Negativ fixirt; auf demselben sind in unserem Falle die Flammenzeichnungen hell, der Hintergrund dunkel.

Die Transparent Films müssen nach dem Auswaschen 1—2 Minuten in ein Bad von 50 ccm Wasser, 50 ccm Alkohol und 2 ccm Glycerin gelegt werden. Dann werden sie getrocknet. Durch das Glycerinbad wird verhindert, dass sie sich beim Trocknen rollen.

Fig. 135 giebt ein Bild einer so vom Unterarm erhaltenen Curve der sogenannten Strompulse oder das Tachogramm. Ihre Be-

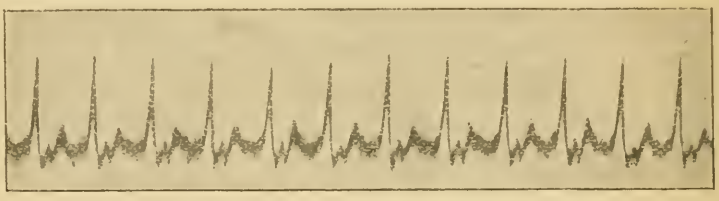


Fig. 135 (nach v. Kries).

deutung ist nach dem im Eingange dieses Kapitels Gesagten verständlich.

Um die Flamme noch leuchtender zu machen, kann man ihr Benzindämpfe beimischen (siehe v. Kries, Du Bois-Reymond's Archiv 1887, S. 269).

Betreffs der quantitativen Verwerthbarkeit der Methode der Flammentachographie siehe R. Abele, Zur Methode der Flammentachographie. Du Bois-Reymond's Archiv für Physiol. 1892, S. 23.

XLVI. Kapitel.

Messung der Stromgeschwindigkeit in der Carotis des Kaninchens.

Ludwig's Stromuhr[1]). Zwei aufrecht stehende, gleich grosse Glasbirnen K und K′ (Fig. 136) sind oben verbunden durch eine bogenförmige Röhre, die zum Eingiessen von Flüssigkeit eine mit Pfropfen oder mit Gummischlauch und Klemme verschliessbare Oeffnung o hat. Die unteren Enden der Birnen stehen durch die kurzen Metallröhren m und m′ in einer um eine senkrechte Axe drehbare Metallscheibe p p befestigt. Ihren Oeffnungen gegenüber befinden sich in einer zweiten Scheibe s s, auf der sich die erste dreht, die Enden zweier Metallröhrchen, deren andere Enden vermittels passender Canülen H und C mit den Oeffnungen einer durchschnittenen Carotis eines Kaninchens in Verbindung gesetzt werden.

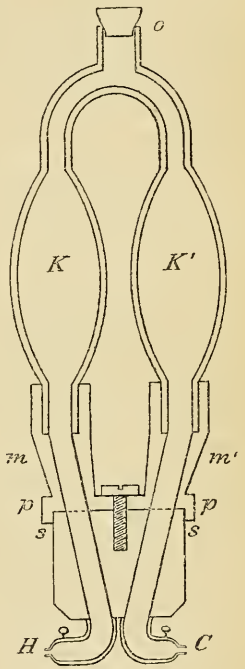


Fig. 136.

Der ganze Apparat wird durch eine Klemmschraube an einem horizontal gestellten Arm festgehalten und kann mittels dieses Arms direct an der senkrecht stehenden Eisenstange befestigt werden, die sich am Kopfende des Czermak'schen Kaninchenhalters befindet.

Der Apparat wird zum Versuche selbst in folgender Weise hergerichtet. Man verbinde einen grossen Trichter oder eine tubulirte Flasche, die höher steht als der Apparat, mit dem Röhrenende bei C durch einen Gummischlauch. In den Trichter resp. die Flasche giesse man eine für den Körper indifferente Flüssigkeit, etwa 0,6procentige Kochsalzlösung, noch besser defibrinirtes Blut, so dass sie in der zugehörigen Birne K′ aufsteigt und zwar so hoch, dass sie gerade noch nicht in die andere Birne K überfliesst.

[1]) Beschreibung bei Dogiel, Arbeiten aus d. physiol. Anstalt. Leipzig 1867.

Darauf dreht man die Uhr um etwa 90°. Nun stehen die beiden Birnenöffnungen nicht mehr den Oeffnungen der Röhren in der Scheibe s s gegenüber, sondern sie sind durch die Scheibe s s geschlossen. Man füllt nun mit Petroleum oder Olivenöl die noch leere Birne K bis zum Rande der oberen Oeffnung o voll und verschliesst dann die obere Oeffnung. Darauf dreht man die Uhr um 90° weiter, so dass jetzt die Birne K rechts und K′ links steht. Nun fliesst aus dem Trichter resp. der tubulirten Flasche wieder Flüssigkeit ein, indem sie das Petroleum in K vor sich her und die Flüssigkeit aus K′ durch H hinausdrängt. Die Flüssigkeit läuft also ab aus der Röhrenöffnung für das periphere Arterienschnittende. Ist vom Trichter aus K wieder so weit gefüllt, dass die Kochsalzlösung gerade noch nicht in K′ überfliesst, alles Petroleum also in K′ steht, so verschliesst man die Uhr wieder durch Drehen um 90°.

Diese Manipulation hat den Zweck, die ganze Leitung, durch die beim Versuche das Blut hindurchfliessen muss, mit Flüssigkeit zu füllen, so dass gar keine Luft mehr darin ist.

Das Princip, nach welchem mit der so hergerichteten Stromuhr die Strömungsgeschwindigkeit des Blutes gemessen wird, ist folgendes: Die beiden Röhren werden mittels Canülen mit den Schnittenden der Arterie verbunden, die Uhr dann so gestellt, dass die Petroleum haltige Birne mit dem centralen Ende der Arterie, die Kochsalzlösung haltige mit dem peripheren verbunden ist. Nun strömt Blut aus dem centralen Ende in die Stromuhr ein, treibt das Petroleum vor sich her und in die andere Birne und dadurch die Kochsalzlösung durch das periphere Schnittende in das Gefässsystem hinein. Ist das Petroleum ganz in die andere Birne übergetreten, so wird die Uhr wieder um 180° gedreht. Es steht von Neuem das Petroleum vor dem centralen Ende, in das periphere wird jetzt aber Blut aus der bluthaltigen Birne hineingetrieben. Man wartet wieder, bis das Petroleum ganz übergelaufen ist, dreht wieder u. s. f. Man vollführt auf diese Weise eine Reihe von Umdrehungen. Zugleich muss genau die Zeit bestimmt werden, die vom Beginn des Versuchs bis zum Ende der letzten Umdrehung erfolgt. Dividirt man diese Zeit durch die Zahl der Umdrehungen, so ergiebt sich die Zeit, die zwischen zwei auf einander folgenden Drehungen verstreicht. In dieser Zeit läuft so viel Blut durch die Arterie und aus ihr heraus, wie eine Glasbirne füllen kann. Das

Volum der Glasbirne ist aber bekannt oder leicht zu bestimmen. Aus den erhaltenen Zahlen lässt sich nun berechnen, wie viel Blut in 1 Secunde durchströmt. Dividirt man diese Blutmenge durch den Querschnitt der Arterie, so erhält man die Geschwindigkeit der Blutbewegung.

Ehe man den Versuch selbst anstellt, mache man zur Uebung und auch zum Aichen des Apparates folgenden schematischen Versuch:

Man lässt aus einer tubulirten Flasche Flüssigkeit durch einen Gummischlauch ausfliessen und bestimmt mit der Stromuhr die Geschwindigkeit des Flüssigkeitsstroms in dem Gummischlauch. Dazu wird das Ende des Gummischlauchs mit der Röhrenöffnung C verknüpft. Als Flüssigkeit benutzt man am besten eine Farbstofflösung (Carmin oder Nigrosin), weil diese leichter vom Petroleum zu unterscheiden ist als Wasser.

Man kann die Stromuhr statt mit der Kochsalzlösung schon gleich mit der Farbstofflösung füllen und bei der Füllung in der vorhin angegebenen Weise auch schon gleich die tubulirte Flasche mit dem Gummischlauch benutzen. Bei dem Versuch selbst fliesst die Farbstofflösung aus der Oeffnung D aus. Man stellt unter dieselbe einen Messcylinder, so dass die Flüssigkeit da hinein fliesst. Nun stelle man den Versuch in der angegebenen Weise an; man zählt die Zahl der Umdrehungen und bestimmt die Zeit. Dividirt man nun das Volum der ausgeflossenen Flüssigkeit, das im Messcylinder gemessen wird, durch die Zahl der Umdrehungen, so erhält man das Volum, das zwischen zwei Drehungen durch die Uhr durchgegangen ist, d. i. aber gleich dem Volum einer Birne, weil zwischen zwei Umdrehungen eine Birne gerade ein Mal von der einfliessenden Flüssigkeit gefüllt wird.

Dividirt man ferner das Volum der ausgeflossenen Flüssigkeit durch die Zahl der während dessen vergangenen Secunden, so erhält man das in einer Secunde durch die Leitung passirte Volum. Um hieraus die Stromgeschwindigkeit in dem Gummischlauch zu bestimmen, hat man noch dies Volum durch den Querschnitt des Schlauches zu dividiren. Der Querschnitt wird berechnet aus dem mit Zirkel zu messenden Durchmesser des Schlauches (nach der bekannten Formel $\left(\frac{d}{2}\right)^2\pi$).

Topographische Anatomie des Kaninchenhalses.

Man studire die Anatomie des Halses des Kaninchens erst an einem todten Thiere, ehe man die Operation am lebenden macht[1]).

Literatur: W. Krause, Anatomie des Kaninchens. Leipzig 1868.
P. Schneider, Topographische Anatomie des Vorderhalses beim Kaninchen. Berlin 1868.

Nach Entfernung des Musculus subcutaneus colli und der oberflächlichen Halsfascie kann man unterscheiden:

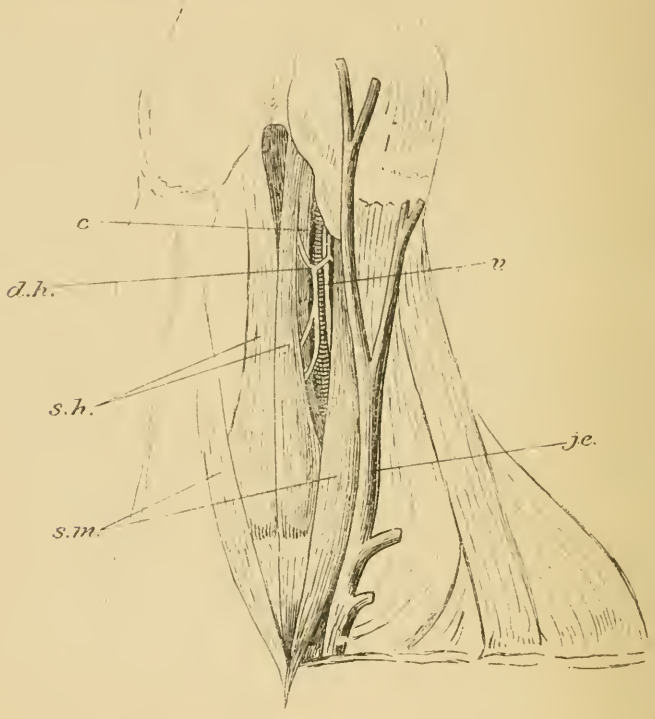


Fig. 137.

1. mittlere Region, die den beiden Trigona cervicalia anteriora des Menschen entspricht;

2. zwei seitliche Regionen, entsprechend den Trigona cervicalia posteriora. Beide sind getrennt von einander durch die Musculi sternomastoidei (s.m., Fig. 137).

Uns interessirt hier nur die mittlere, und zwar der untere Theil derselben, zwischen Zungenbein und Brustbein.

---

[1]) Siehe die Anmerkungen S. 178 u. 199.

In der Mitte liegen hier die Musculi sternohyoidei (s.h.) und sternothyreoidei, die der Luftröhre aufliegen. In ihrem unteren Theile werden sie bedeckt durch die in spitzem Winkel von beiden Seiten her zusammenstossenden und am Brustbein inserirenden sternomastoidei s.m. Zwischen den Muskeln, der Trachea und dem Sternomastoideus liegt die Carotis communis, c. Im oberen Theile ist sie leicht zwischen den erwähnten Muskeln gleich zu finden (der auf ihr verlaufende Nerv d.h. ist der Ramus descendens hypoglossi), im unteren muss man in die Furche zwischen beiden Muskeln etwas tiefer eingehen. In ihrem ganzen Verlaufe vom Sternum bis in die Höhe des Kehlkopfs giebt sie nur die Arteria thyreoidea superior ab. Man sieht die Carotis in ihrem ganzen Verlaufe frei, wenn man den Sternomastoideus entfernt.

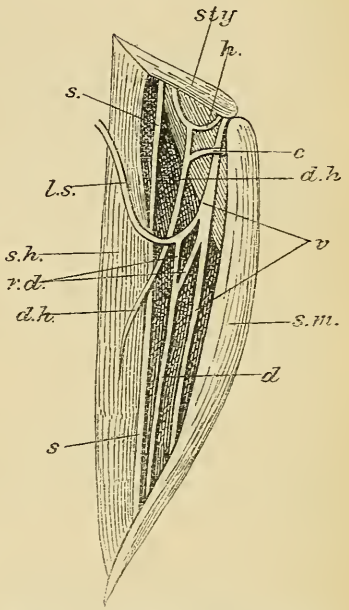


Fig. 138. Schematische Darstellung der Nerven des Kaninchenhalses nach Ludwig u. Cyon[1]).

v: Vagus. l.s.: laryngeus superior. d: depressor. r.d.: radices nervi depressoris. h.: hypoglossus. d.h.: descendens hypoglossi. c: Verbindung des Ramus descendens hypoglossi mit dem Cervicalplexus s: Sympathicus. s.m.: Musculus sterno-mastoideus. s h.: Musculus sterno hyoideus. sty: Musculus stylo-hyoideus.

Zur Seite der Carotis liegt der Nervus vagus, hinter der Carotis der Sympathicus und der dem Sympathicus innen anliegende Nervus depressor, der aus dem Vagus und Laryngeus superior mit je einer Wurzel entstammt und über den Halssympathicus nach innen von demselben verläuft. Die Figur 138 giebt ein Schema der in dieser Gegend verlaufenden Nerven. Die Carotis ist in dieser Zeichnung entfernt gedacht. Die schematische Figur giebt die Lage des Sympathicus und Depressor zu einander nicht richtig an, um den Ursprung des Depressor besser erkennen zu lassen.

Weiter nach auswärts vom Vagus liegt die Vena jugularis interna; die externa (j.e., Fig. 137) liegt an der lateralen Grenze des Sternomastoideus. Beide vereinigen sich kurz oberhalb des Sternum, und die Venae jugulares communes beiderseits sind hier

[1]) Arbeiten aus der physiol. Anstalt zu Leipzig, 1866.

durch eine zwischen Sternomastoidei und den auf der Trachea liegenden Muskeln gelegene Vene verbunden.

Operation. Das Thier wird narkotisirt, auf dem Kaninchenhalter in Rückenlage festgebunden. Man entferne zunächst die Haare am Halse mit einer Scheere.

1. Freilegen der Carotis. Hautschnitt in der Medianlinie des Halses, unterhalb des Kehlkopfs beginnend bis fast zum Sternum. Dann wird der Hautmuskel und die oberflächliche Fascie durchschnitten, so dass die Muskeln (Sternomastoideus und Sternohyoideus) frei liegen. Die Haut wird nach rechts oder links geschoben, je nachdem man rechts oder links die Arterie aufsuchen will. Die Hautschnittränder werden mit stumpfem Haken von einem Gehilfen oder durch Gewichtshaken aus einander gehalten.

Nun geht man auf der ausgewählten Seite mit einem stumpfen Instrument (Scalpellstiel oder Hohlsonde) in die Furche zwischen beiden Muskeln ein und löst so die Muskeln von einander ab. Man stösst direct auf die Carotis. Man durchschneidet das tiefe Blatt der Fascia cervicalis, die die sämmtlichen hier liegenden Theile umhüllt und isolirt die Carotis von allen anderen Theilen vollständig. Man präparirt die Carotis so weit wie möglich nach oben und unten hin frei.

2. Einführen der Canülen. Die Canülen, die zur Verbindung des Gefässes mit der Stromuhr dienen, sind sehr kurze Metallröhrchen, die mit ihrer weiten Oeffnung genau auf die unteren Oeffnungen der Stromuhr passen, mit ihrer engen Oeffnung im Gefäss liegen sollen. Dem Apparate sind für verschieden dicke Gefässe verschieden weite Canülen beigegeben. Man sucht zwei Canülen von passender Weite aus.

Damit man mit den kurzen Canülen besser hantiren kann, steckt man sie auf das eine Ende eines passend dicken Holzstäbchens. Das Ende des Holzstäbchens ragt aus der engen Oeffnung der Canüle noch etwas hervor und ist hier abgerundet, damit es beim Einführen ins Gefäss dieses nicht verletzt.

Man legt möglichst weit oben und unten dem frei präparirten Stücke der Carotis kleine Klemmpincetten an und führt zwei Fäden unter dem Stück zwischen den Klemmpincetten durch. Man fasst das Stück in der Mitte mit einer Pincette und schneidet hier mit einer spitzen Scheere ein kleines Loch in die Wand des Gefässes

ein, hüte sich aber davor, die Arterie ganz zu durchschneiden. Von dem Loch aus schlitzt man nach oben und unten zu die Arterie noch eine Strecke weit auf. Die Länge des ganzen Schlitzes muss so gewählt werden, dass man am oberen und unteren Schnittende bequem die Canülen einführen und das Gefäss auf ihnen festbinden kann. Man hält nun das Arterienlumen mit einer feinen Pincette oder einem Finder offen und führt das Holzstäbchen mit der Canüle an seinem Ende in das Arterienlumen ein. Steckt das schmale Ende der Canüle ganz in dem Arterienlumen, so bindet man einen der Fäden, die unter der Arterie durchgezogen waren, über eine der Rinnen an diesem engen Ende fest. Darauf zieht man vorsichtig das Holzstäbchen aus der Canüle wieder heraus, die Canüle bleibt in der Arterie liegen. So wird oben und unten eine Canüle eingeführt.

Verbindung der Canülen mit der Stromuhr. Die Stromuhr wird zunächst über der Carotis so festgestellt, wie sie im Versuche stehen soll: es geschieht das mittels des erwähnten horizontalen Arms, der an der senkrecht stehenden Stange am Kopfende des Kaninchenhalters oder an einem anderen Stativ in horizontaler und verticaler Richtung verstellbar ist. Nun füllt man mittels einer Pipette die Canülen mit Kochsalzlösung und steckt sie dann den Röhrenenden der Stromuhr auf. Man achte darauf, dass bei der Verbindung keine Luftblasen in die Leitung hineinkommen. Die Canülen werden den Röhrenenden fest aufgedrückt und noch fest an die Uhr angebunden, wozu man den Faden durch die kleinen, an den Canülen angebrachten Ringe steckt. Sollte der Zwischenraum zwischen beiden Canülen zu klein sein, um die Stromuhr dazwischen zu bringen, so schneidet man die Carotis dazwischen durch. Ehe man nun den Versuch beginnt, überzeuge man sich, dass die Carotis gestreckt verläuft, an keiner Stelle in Folge der Verbindung mit der Uhr geknickt ist.

Ausführung der Messung. Man nimmt nun die beiden Klemmpincetten von der Arterie ab und dreht die Uhr so, dass die mit Petroleum gefüllte Birne nach dem Herzen zu steht, so dass das Blut nun einströmen kann. Diesen Moment giebt man einem Gehilfen, der die Zeit auf der Uhr abzulesen hat, laut an, etwa indem man anfängt zu zählen und zwar mit 0. Es erfolgen danach die Umdrehungen in der oben angegebenen Weise und man zählt laut weiter: 1, 2, 3 u. s. f. Der Gehilfe, der die Uhr beobachtet,

notirt sich jedes Mal den Stand der Uhr, wenn er eine Zahl hört, von 0 an beginnend. Sollten die Umdrehungen so schnell auf einander folgen, dass es nicht möglich ist, die Zeit bei jeder Umdrehung zu notiren, so lässt man sie in grösseren Zwischenräumen vermerken, etwa nach je 3, oder je 5, oder noch mehr Umdrehungen.

Die Zeit wird am besten von einer zweiten Person notirt, weil der Experimentator selbst seine Aufmerksamkeit von der Stromuhr nicht ablenken darf. Es kommt sonst leicht vor, dass die Uhr zu früh oder, was noch schlimmer ist, zu spät umgedreht wird, so dass Petroleum aus der Uhr in das periphere Ende der Arterie gelangt und die Circulation stört. Der Versuch muss in der Regel bald abgeschlossen werden, weil meist schnell Gerinnungen eintreten und in Folge dessen der Strom verlangsamt wird. Um den Versuch abzuschliessen, vollführt man nur eine Vierteldrehung, so dass die Leitung durch die Uhr nun wieder verschlossen ist.

Nun misst man noch den Durchmesser der Arterie mit einem Tasterzirkel. Dann klemmt man die Arterie oben und unten wieder zu, nimmt die Stromuhr ab, die Canülen heraus und lässt das Thier aus den offenen Enden der Carotis verbluten, nachdem man die Klemmpincetten abgenommen hat. Man hält den Hals des Thieres über ein Gefäss, in das das Blut einlaufen kann.

Es sei schliesslich noch aufmerksam gemacht auf einige Umstände, die leicht ein Misslingen des Versuches bedingen können. Es kommt nämlich nicht selten vor, dass nach Abnahme der Klemmpincetten Blutungen nach aussen hin auftreten, entweder weil das Gefäss beim Einführen der Canüle verletzt ist oder weil die Canüle nicht dicht im Gefäss eingebunden ist, oder endlich weil die Verbindung zwischen Canüle und Stromuhr nicht dicht ist. Tritt eine solche Blutung ein, so lege man die Pincetten wieder an und suche die Ursache der Blutung ausfindig zu machen und zu beseitigen. Gelingt das nicht, so nimmt man die Uhr wieder ab, bindet die beiden Arterienstümpfe zu und richtet die andere Carotis zum Versuch her. Würde man den Versuch mit der Stromuhr während einer Blutung durchführen, so würde man natürlich falsche Resultate erhalten. Der Versuch ist ferner als misslungen anzusehen, wenn Luftblasen oder Petroleum aus der Uhr in das periphere Gefässende übergehen.

Für die der Berechnung zu Grunde zu legenden Daten ist noch zu bemerken: Wenn in Folge von Gerinnungen die Zeit

zwischen zwei Umdrehungen ersichtlich langsamer geworden ist, als sie zu Beginn des Versuches war, so darf man die von da ab erhaltenen Zahlen nicht mehr bei der Berechnung der mittleren Zeit zwischen zwei Umdrehungen benutzen.

Ueber die Berechnung selbst braucht nach dem früher Bemerkten hier nichts mehr gesagt zu werden.

Tigerstedt (Skandinavisches Archiv f. Physiol., Bd. 3, S. 151) hat die Stromuhr in folgender Weise modificirt. In einem horizontal gestellten, sehr gut geschliffenen Glascylinder findet sich eine hohle, der Lichtung des Cylinders angepasste Metallkugel. Diese Kugel wird von dem durch den Apparat strömenden Blut vorwärts bewegt. Wenn die Kugel an dem peripheren Ende des Cylinders angekommen ist, wird der Cylinder mittels des bei der Ludwig'schen Stromuhr benutzten Mechanismus umgedreht, und das Blut schiebt die Kugel wieder vorwärts. Die Abgrenzung des strömenden Blutes geschieht durch die Kugel, die zwischen je zwei Umdrehungen des Messcylinders durch den Apparat strömende Blutmenge ist dem Inhalt des Cylinders minus der Kugel gleich.

Neuerdings hat Ludwig die Stromuhr in folgender Weise vereinfacht: Sowohl der centrale als der periphere Stumpf des durchschnittenen Gefässes sind durch vier Gabelrohre, die durch Gummischläuche verbunden werden, in Verbindung mit der unteren Oeffnung der beiden Birnen I und II, so dass vier Leitungen bestehen, nämlich:

a) vom centralen Stumpf nach der unteren Oeffnung der Birne I,
b) „ „ „ „ „ „ „ „ „ II,
c) „ peripheren „ „ „ „ „ „ „ I,
d) „ „ „ „ „ „ „ „ „ II.

Die Birnen stehen unbeweglich fest. Klemmt man die Gummischläuche der Leitung b) und c) zu, so geht das Blut in Birne I hinein, aus Birne II heraus. Klemmt man danach a) und d) zu und öffnet b) und c), so geht nun das Blut in Birne II hinein, aus Birne I heraus. Das abwechselnde Zuklemmen der beiden Leitungspaare entspricht hier den Umdrehungen beim alten Apparat. Es ist leicht zu sehen, wie durch die neue Vorrichtung nach demselben Principe, wie bei der alten, die Strömungsgeschwindigkeit gemessen werden kann.

Statt der Birnen sind bei dem neuen Apparat zwei cylindrische Röhren genommen, die oben mit einander verbunden sind. Das Petroleum ist ganz weggelassen und statt dessen der Raum mit Luft gefüllt. Das Blut wird von der Luft abgegrenzt durch zwei in dem Cylinder auf- und abwärts gehende Schwimmer. Wenn diese Schwimmer am oberen Ende der Steigcylinder ankommen, so bewirken sie durch Anstossen an einen Contact vermittels einer elektromagnetischen Vorrichtung, dass das bis dahin offene Leitungspaar zugeklemmt, das geschlossene aber geöffnet wird. Die Verbindung mit der Arterie kann hier durch gewöhnliche Kanülen geschehen.

In primitiver Form kann man sich eine solche Stromuhr auch leicht selbst aus vier Gabelrohren, zwei kurzen weiten Röhren, durchbohrten Korkpfropfen, Gummischläuchen und Glasröhrchen herstellen.

Näheres darüber findet man bei:
Stolnikow, Du Bois-Reymond's Archiv 1886, S. 6.
Pawlow, Du Bois-Reymond's Archiv 1887, S. 452.
Bohr, Skandinav. Archiv f. Physiol., Bd. 2, S. 238.

XLVII. Kapitel.

Blutdruck.

Apparate zur Messung des Blutdrucks.

Früher wurden nach C. Ludwig's Vorschlag zur Messung des Blutdrucks und seiner Schwankungen registrirende Quecksilbermanometer benutzt. Der eine Schenkel des Manometers wurde mit dem Gefäss verbunden, dessen Blutdruck gemessen werden sollte, das Quecksilberniveau in dem anderen Schenkel trug einen Schwimmer, der durch eine Stange mit einer Zeichenfeder verbunden wurde, die

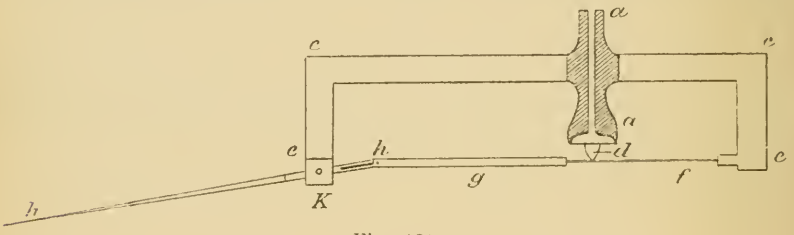


Fig. 139.

der Kymographiontrommel anlag. Die Quecksilbermanometer werden nicht mehr verwendet, weil schnelle Druckänderungen in Folge der Trägheit des Quecksilbers nicht genau genug zum Ausdruck kommen. Man verwendet jetzt die sogenannten elastischen Manometer oder Tonographen.

1. Federmanometer von Fick (Fig. 139). a a ist ein Metallstück, von einem engen Canal durchbohrt, der sich unten zu einem offenen, sehr flachen, tellerförmigen Grübchen erweitert. Seine Oeffnung ist mit einer dünnen Kautschuklamelle überbunden, auf deren Mitte ein Elfenbeinknopf d aufgeleimt ist. Die abgerundete Kuppe des Knopfs drückt auf einen federharten, starken Stahlstreif f, der an dem zwei Mal rechtwinklig geknickten Messingstück e e e e befestigt ist, das auch das Stück a a trägt. Wenn in dem Hohlraum von a a der Druck schwankt, wölbt sich die Kautschuklamelle vor und sinkt wieder ein; dementsprechend wird die Feder f niedergebogen und schnellt wieder auf. Da aber die Grundfläche des Elfenbeinknopfes, auf welche der Druck in b einwirkt,

sehr klein, noch lange kein Quadratcentimeter ist, so werden sehr bedeutende Druckschwankungen nur sehr kleine, kaum mit dem Auge sichtbare Bewegungen der Feder f entsprechen, worin der Hauptvorzug des Instrumentes besteht. Um nun die Bewegungen des Federendes zu vergrössern, ist eine gewöhnliche Hebelübertragung angebracht. Zunächst nämlich ist die Feder durch einen Schilfstreif g verlängert, der an einem Ende ein Gäbelchen trägt, durch das ein feines Stahlstiftchen gesteckt ist. Dies geht ausserdem durch einen feinen Schlitz im hinteren Arme des Zeichenhebels h h. Die Axe K desselben läuft in Spitzen in einer Gabel, die das untere Ende des Vorderstücks von e bildet. Indem sich dies Vorderstück durch einen in der Figur nicht gezeichneten einfachen Schraubenmechanismus etwas vor- oder zurückstellen lässt, kann der hintere Arm des Zeichenhebels vergrössert und verkleinert und dadurch der Massstab, in dem die Zeichenspitze die Bewegungen der Feder wiedergiebt, verändert werden. An dem Messingstück e ist vorne noch ein zweiter Zeichner angebracht, der in solcher Höhe unbeweglich festgestellt wird, dass seine Schreibspitze in gleicher Höhe mit der Schreibspitze des beweglichen Zeichners steht, wenn der Druck im Manometer gleich dem atmosphärischen Luftdruck ist. Der feststehende Zeichner zeichnet dann gleichzeitig auf die Schreibfläche eine gerade horizontale Linie, die die Abscissenaxe für die Curve darstellt.

Zum Gebrauche wird nach Fick's früheren Angaben nur das tellerförmige Grübchen mit ein paar Tropfen Wasser gefüllt, um die Dichtung des Kautschukverschlusses am Rande leichter zu sichern, der Canal bleibt mit Luft gefüllt. Mit dem Stück a wird ein in geeigneter Weise gebogenes Glasrohr von sehr engem Lumen, etwa 1 qmm Querschnitt, durch ein Kautschukrohr von recht dicker und deshalb nicht leicht dehnbarer Wand verbunden, so dass der Canal in a mit dem Lumen des Glasrohres communicirt. An der Verbindungsstelle muss das Glasrohr dicht an das Metallrohr grenzen, ohne dass vom dehnbareren Kautschukrohr eine merkliche Länge frei bleibt. An das andere Ende des Glasrohres wird durch eine ebenso knappe Kautschukverbindung die Canüle angefügt, die in das Blutgefäss eingesetzt ist. Dies ganze System von Verbindungsstücken ist also bloss mit Luft gefüllt.

Neuerdings füllt Fick, dem Vorschlage Hürthle's folgend (siehe unten), die Verbindungsstücke mit Flüssigkeit. Die zur Verbindung dienende Glasröhre wird in diesem Falle weiter gewählt.

Da bei den Blutdruckversuchen leicht Blut in die Manometerleitung gelangen kann und dort gerinnt, so muss man zur Füllung der Leitung eine Flüssigkeit wählen, die gerinnunghemmend wirkt.

Als gerinnunghemmende Flüssigkeiten sind zu nennen:

Gesättigte Sodalösung.

Gesättigte Magnesiumsulfatlösung.

8procentige Peptonlösung (Tigerstedt hat befriedigende Resultate erhalten, wenn er die im Gefäss eingebundene Canüle und den anliegenden Theil der Manometerleitung mit 8procentiger Peptonlösung, den übrigen Theil der Leitung mit 25procentiger Magnesiumsulfatlösung füllte. Skandin. Archiv f. Physiol. Bd. I, S. 245).

Auch hat man die Gerinnbarkeit des Blutes bei solchen Versuchen vermindert, dadurch, dass man den Thieren Peptonlösung

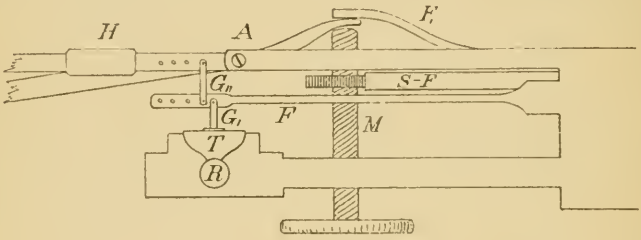


Fig. 140.

(Fano, Du Bois-Reymond's Archiv f. Physiol. 1881, S. 278) oder Blutigelextract (Haycraft, Archiv f. exp. Pathol., 18, S. 209—217) in das Gefässsystem einspritzte.

2. **Federmanometer von Hürthle** (Fig. 140). Hürthle hat das Manometer von Fick in folgender Weise abgeändert (Archiv f. Physiol. v. Pflüger, Bd. 43 u. 47):

1. Er hat die Flüssigkeitsmenge, die bei Druckschwankungen in der Leitung verschoben werden muss, auf das kleinstmögliche Mass beschränkt. Das ist erreicht worden durch Folgendes:

a) Statt die Leitung mit Luft zu füllen, hat er sie ganz mit Flüssigkeit gefüllt. Bei der Luftfüllung wird ein gewisser Theil der Flüssigkeit, die in die Manometerleitung eintritt, zur Compression der darin enthaltenen Luft verwendet; in Folge dessen ist der Flüssigkeitswechsel um diesen Betrag grösser, als bei Flüssigkeitsfüllung. Deshalb muss die Luftübertragung beim Manometer vermieden werden. Die Verbindungsstücke zwischen Arterie und Mano-

meter müssen dann aber nicht zu lang und hinlänglich weit genommen werden.

b) Die Trommel des Federmanometers ist kleiner gemacht, als bei dem Fick'schen Apparate. Die Verschlussmembran hat nur 7 mm Durchmesser.

Bei der plötzlichen Einwirkung hoher Druckwerthe auf das Manometer entsteht durch die zum Ausgleich der Druckdifferenz nothwendige Flüssigkeitsverschiebung eine Stosswirkung, durch die der ursprüngliche Druckwerth unter Umständen beträchtlich vermehrt und durch den Zeichner entstellt wiedergegeben wird, da die lebendige Kraft der Flüssigkeit sich in Spannung der Stahlfeder umsetzt. Zur Vermeidung dieser Stosswirkung wird ein Widerstand zwischen Manometer und den zu messenden Druckwerth eingeschaltet, z. B. durch theilweises Zudrehen eines Hahns in der Leitung oder durch Einschaltung einer Capillarröhre, deren Lumen und Länge dem einzelnen Falle experimentell anzupassen ist. Hürthle nennt einen so abgeänderten Apparat: gedämpftes Manometer. In den von uns hier anzustellenden Versuchen ist eine Dämpfung nicht erforderlich.

2. Die Uebertragung des Druckes von dem Elfenbeinknopf auf die Stahlfeder ist keine gleichbleibende, weil der Knopf sich längs der Stahlfeder verschieben und dadurch die Grösse des Ausschlags verändern kann. Deshalb hat Hürthle eine feste Verbindung zwischen Gummimembran und Stahlfeder in der Weise hergestellt, dass ein auf die Membran der Trommel aufgeklebtes Metallscheibchen von 4 mm Durchmesser die Gabel G, trägt, welche die Verbindung mit der Stahlfeder durch ein Gelenk herstellt.

Die Stahlfeder F ist verbunden mit dem Schreibhebel H durch die Doppelgabel $G_{„}$. Letztere kann in verschiedener Entfernung vom Drehpunkt des Hebels eingestellt werden; dadurch kann man die Hebelvergrösserung verändern.

Der Abscissenschreiber ist so angebracht: Er ist um die Axe A drehbar und trägt eine Verlängerung nach rückwärts, welche durch eine starke Feder F_1 gegen die Spitze der Mikrometerschraube M gedrückt und so unbeweglich festgehalten wird. Durch die Schraube kann die Spitze des Abscissenschreibers mit der des Hebels H genau in eine Horizontale gestellt werden. Die Schraube selbst aber wird durch eine Sperrfeder S-F, die in ein mit der Schraube verbundenes Zahnrad eingreift, in ihrer Stellung fest gehalten und kann nur nach Lüftung der Sperrfeder bewegt werden.

In die Trommel T münden die beiden durch Hähne verschliessbaren Röhren R und R_1 (in Fig. 141 im Durchschnitt von vorne gesehen), deren eine zur Verbindung mit der Arterie bestimmt ist,

während die andere zur Erleichterung der Füllung des Apparates mit gerinnunghemmender Flüssigkeit dient; bei der Vornahme der Füllung muss man den Apparat umwenden, da die Röhren in den tiefsten Theil der Trommel münden. Nach der Füllung wird die nicht mit der Arterie verbundene Röhre durch Zudrehen des Hahns geschlossen.

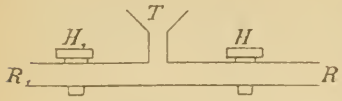


Fig. 141.

Für das Aufspannen und Festhalten der Gummimembran auf der Trommel giebt Hürthle noch eine besondere Vorrichtung an (siehe Pflüger's Archiv, Bd. 43, S. 418, u. 47, S. 7).

Zur Bestimmung negativer Druckwerthe kann das Verbindungsstück zwischen Membran und Feder durch ein zweites ersetzt werden, bei dem die Gummimembran zwischen zwei Scheibchen gefasst wird und bei negativem Druck in der Trommel die Stahlfeder gegen die Trommel zieht.

Auch von v. Frey ist ein im Principe dem Fick'schen nachgebildetes Federmanometer angegeben worden, das aber für Luftübertragung eingerichtet ist, und sich daher aus den angegebenen Gründen weniger empfiehlt. Siehe darüber:

v. Frey, Du Bois-Reymond's Archiv f. Physiol. 1893, S. 1—48.
K. Hürthle, Pflüger's Archiv f. Physiol., Bd. 55. S. 319.
v. Frey, Centralblatt f. Physiol. 1893, S. 453.

3. **Gummimanometer von Hürthle.** Ein dem Marey'schen Tambour enregistreur ähnlich gebauter Apparat wird mit einer starken Gummimembran überzogen. Die Kapsel ist viel kleiner, als die Marey'sche, 7 mm im Durchmesser, und zwar, damit auch hier die Verschiebung der Flüssigkeit, mit der die Kapsel und Manometerleitung gefüllt werden, auf ein Minimum reducirt wird.

4. **Wellenzeichner von Gad** (Centralbl. f. Physiol. 1889, S. 318), im Principe dem eben beschriebenen Gummimanometer gleich, nur ist an Stelle der Kautschukmembran ein kreisförmig gewalztes Blechplättchen gesetzt.

Dieser Apparat giebt nach den Untersuchungen Cowl's (Du Bois-Reymond's Archiv f. Physiol. 1890, S. 564) auch zufriedenstellende Resultate.

Von Hürthle (Pflüger's Archiv f. d. ges. Physiol., Bd. 49, S. 45) ist ferner noch ein Differentialmanometer angegeben worden zur Registrirung der Druckdifferenz zwischen zwei Punkten der Blutbahn.

Graduirung der elastischen Manometer. Die Curven, die mit den elastischen Manometern erhalten werden, geben den Druck natürlich nicht direct absolut, in Millimeter Quecksilbersäule an. Um aus ihnen den Druck absolut entnehmen zu können, muss man die Manometer graduiren. Das geschieht so: Mit den drei Schenkeln eines T-Rohrs werden durch Gummischläuche verknüpft:

1. das Manometer, dessen Zeichner an eine Schreibfläche (Kymographiontrommel) angelegt sind.

2. ein gewöhnliches Quecksilbermanometer.

3. eine luftdicht schliessende Spritze oder ein mit Luft gefüllter Gummiballon. Durch Bewegung des Spritzenstempels oder durch Compression kann der Druck in der Leitung erhöht werden. Man erhöht so den Druck, der Zeichner des Feder-Manometers steigt und man zeichnet seine neue Stellung auf, indem man die Trommel um ein kleines Stück verschiebt. Der Abscissenzeichner zeichnet gleichzeitig die Nulllinie. Ferner liest man den zugehörigen Stand des Quecksilbermanometers ab. Um während dieser Zeit den Druck constant zu halten, klemmt man bei Anwendung einer Spritze den Verbindungsschlauch zwischen Spritze und T-Rohr mit einer Klemmpincette zu, bei Anwendung eines Gummiballons erzeugt man grösseren Druck durch ein vermittels Brettchen dem Gummiballon aufgelegtes Gewicht. So bestimmt man nach einander für verschiedene Drucke den Federmanometerstand und den Quecksilbermanometerstand und berechnet aus den erhaltenen Daten, wie viel Millimeter Quecksilbersäule 1 mm Ordinate der Federmanometercurve entspricht.

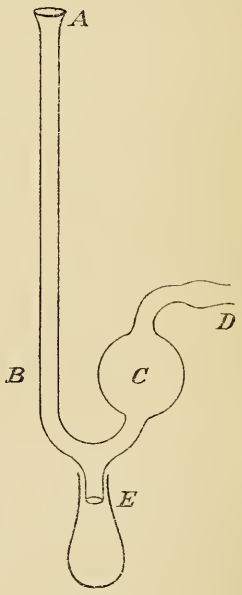


Fig. 142.

Hürthle hat folgendes Verfahren zur Graduirung angegeben, das bequem und rasch zum Ziele führt: An den Tubulus E (Fig. 142) der Manometerröhre ABCD ist ein Gummibeutelchen befestigt, das durch eine mittels Schraube bewegbare Messingplatte comprimirt werden kann. Beutelchen und Manometerröhre sind bis zur halben Höhe der Kugel C mit Quecksilber gefüllt; der über dem Quecksilberspiegel in C befindliche Raum, sowie das mit dem Schlauchansatz D verbundene elastische Manometer enthalten Wasser. Nun wird die Gummimembran des elastischen Manometers auf gleiches Niveau mit dem Quecksilberspiegel gebracht, beide Hähne des Hürthle'schen Manometers zur Herstellung des Atmosphärendrucks auf beiden Seiten geöffnet und der gegen die Luft gekehrte wieder geschlossen. Comprimirt man nun das Beutelchen, so entleert es seinen Inhalt beinahe ausschliesslich in die Röhre AB, da in das

Manometer selbst bei 200 mm Quecksilberdruck nicht einmal ein Tropfen Flüssigkeit eintritt. Es kann daher das Quecksilberniveau in C als constant betrachtet und die Quecksilberdrucke direct auf einer neben AB befindlichen Skala abgelesen werden.

Blutdruckversuch am Kaninchen.

Vorbereitungen zum Versuch. Ausser dem elastischen Manometer, das in der beschriebenen Weise zurecht gestellt und der für passende Geschwindigkeit eingestellten Kymographiontrommel angelegt wird, wird noch ein Zeitschreiber (Baltzar'sche Uhr oder Metronomcontact mit Zeichnung durch elektrische Uebertragung, siehe S. 76) aufgestellt, ferner ein Reizapparat: Tauchelement, verbunden mit der primären Spule, Wagner'scher Hammer. In der secundären Leitung Tetanisirschlüssel als Nebenleitung. Reizelektroden von der S. 43 beschriebenen Form.

Das Kaninchen wird auf Czermak's Kaninchenhalter in Rückenlage aufgebunden. Es ist schwach zu narkotisiren, nicht zu tief, weil in tiefer Narkose der Blutdruck Aenderungen erleiden kann. Es genügen dazu 0,25 g Chloralhydrat in die Bauchhöhle injicirt.

Da übrigens auch narkotisirte Thiere häufig noch Bewegungen ausführen, die bei diesem Versuche stören können, so ist es noch zweckmässiger, das Thier mit Curare zu vergiften, alsdann ist aber künstliche Athmung nöthig.

Curareinjection beim Kaninchen. Es wird bei dem Thier die Vena jugularis externa auf eine Strecke hin ganz frei präparirt, was unter Benutzung des Hautschnitts geschieht, der auch zur Freilegung der Carotis für den Blutdruckversuch dient. Das freigelegte Stück der Vena jugularis wird an seinem peripheren Ende mit einem Faden zugebunden. Das centrale Ende wird mit einer Klemmpincette zugeklemmt. Nun wird in das Stück ein Schnitt gemacht, das Lumen der Vene mit Pincette oder Finder offen gehalten und in der Richtung nach dem Herzen zu eine Canüle eingelegt und festgebunden. Die Canüle wird, um die Luft zu vertreiben, mit indifferenter Flüssigkeit (0,6 % NaCl) bis zum Rande gefüllt mit Hilfe einer feinen Pipette. Dann verbindet man mit der Canüle die Oeffnung einer circa 5 ccm fassenden Spritze durch einen Gummischlauch. Die Spritze ist vorher mit 1procentiger Curarelösung gefüllt. Es ist darauf zu achten, dass keine Luft-

blasen in der Verbindung bleiben. Nun ist alles zur Einführung des Giftes bereit.

Die Vergiftung selbst nimmt man aber besser erst vor, wenn alles andere zum Blutdruckversuch schon fertig steht, aus folgendem Grunde: Durch die Vergiftung werden die Endigungen der motorischen Nerven in allen Skelettmuskeln, so auch in denen gelähmt, die die Athembewegungen zu Stande bringen. Da durch diese Lähmung der Tod des Thieres durch Erstickung in Folge des Athemstillstandes eintreten würde, so muss künstliche Athmung eingeleitet werden, um das Thier am Leben zu erhalten. Damit man dadurch nicht während der weiteren Operation etc. gestört wird, nimmt man die Vergiftung erst zu allerletzt vor.

Zur Vergiftung nimmt man die Klemmpincette ab und drückt dann die Curarelösung mit der Spritze in das Gefäss hinein. Zunächst injicire man 1 ccm, klemme die Vene wieder zu und warte einige Minuten. Wenn diese Menge zur Vergiftung hinreicht, so wird nach dieser Zeit die Athmung flacher, das Thier bewegt sich nicht mehr; nun darf man nicht säumen, die künstliche Athmung einzuleiten. Tritt die Vergiftung noch nicht ein, so injicirt man von Neuem etwas Curarelösung u. s. f., bis eben die Vergiftung eintritt. Zu starke Vergiftung vermeide man, weil sonst der gleich zu beschreibende Versuch wegen Lähmung der Herzhemmungsfasern des Vagus misslingt.

Künstliche Athmung. Die künstliche Athmung wird durch eine in die Trachea eingebundene Canüle vorgenommen.

Tracheotomie. Man geht in der Medianlinie zwischen den paarigen der Trachea aufliegenden Muskel ein, am besten mit einem stumpfen Instrument, um Blutung zu vermeiden. Ein in der Mitte verlaufendes Blutgefäss wird zur Seite geschoben. So legt man die Trachea frei und führt mit einer Unterbindungsnadel oder Pincette einen Faden unter ihr durch. Dann macht man einen Querschnitt in die Trachea, den man, wenn nöthig, noch zu einem ovalen Loch erweitern kann, und führt nun eine Canüle von passender Grösse ein und bindet sie mit dem Faden auf der Trachea fest. Einen kleinen Blasebalg verbindet man durch einen weiten Gummischlauch mit der Canüle; in die Wand des Schlauches dicht an der Canüle wird ein Loch eingeschnitten. Man bewegt den Blasebalg rhythmisch, so dass die Zahl der Bewegungen etwa der Zahl der Athemzüge des normalen Kaninchens entspricht. Die

Luft wird in die Lunge hineingetrieben; das Loch verhindert, dass in Folge zu starken Einblasens die Lunge geschädigt wird. Nach Aufhören des Einblasens erfolgt die Exspiration durch die Elasticität des Thorax. Die Exspirationsluft wird dabei aus dem Loch im Gummischlauch ausgetrieben.

Die Bewegung des Blasebalgs während des Versuchs muss durch einen Gehilfen geschehen.

Es giebt noch besondere Vorrichtungen, vermittels deren man die Bewegung des Blasebalgs von einem Motor aus (Gas- oder Wassermotor) geschehen lässt, und die es auch gestatten, das Quantum Luft, das bei jeder Blasebalgcompression eingetrieben wird, immer gleich zu halten. Für unsere Zwecke ist eine solche Einrichtung zu entbehren. Ferner hat man auch besondere Trachealkanülen für die künstliche Athmung angegeben, die gleich mit einer seitlichen Oeffnung versehen sind. Die Grösse der Oeffnung kann bei denselben variirt werden.

Bei dieser Art, die künstliche Athmung zu bewirken, weichen die Drucke im Thorax von den normalen erheblich ab. Während bei der normalen Inspiration der intrathorakale Druck negativ ist, wird er bei der künstlichen Athmung positiv. Deshalb hat Zuntz die Athmung nach einem andern Principe angestellt: die Luft wird aus der Lunge ausgesaugt und der Eintritt frischer Luft entweder nur durch die Elasticität der Lunge und des Thorax oder durch einen geringen positiven Druck bewirkt. Rosenthal (Archiv für Physiologie von Du Bois-Reymond, 1885, S. 400) hat einen einfachen Apparat angegeben, mit Hilfe dessen die künstliche Athmung nach dem Zuntz'schen Principe angestellt werden kann: Die Lunge wird abwechselnd mit einem Raume A verbunden, in dem ein negativer Druck herrscht und dann mit einem Raume B, in dem der Druck gleich 0 oder ein wenig positiv ist. Durch wechselnde Einstellung von Ventilen wird die abwechselnde Verbindung der Lungen mit den beiden Räumen bewirkt. Im einfachsten Falle, der für unsere Versuche auch zutrifft, kann der zweite Raum B einfach die unbegrenzte Atmosphäre sein.

Zur Herstellung des negativen Drucks im ersten Raume A dient eine Wasserstrahlpumpe. Diese Pumpe dient zugleich zur Bewegung der Ventile in folgender Weise. Der Raum A ist eine flache metallene Dose 3,5 cm hoch, 7 cm im Durchmesser, deren obere Wand aus einer Membran besteht, die auf die oben offene Dose festgebunden ist. Wird die Luft in A verdünnt, so wird die Membran in die Dose hineingedrückt durch den Luftdruck; durch ein mit der Membran verbundenes Hebelwerk findet danach die

Oeffnung eines Ventils statt, so dass wieder Luft in A eindringen kann und die Membran sich nun wieder zurück bewegt. Diese wechselnde Bewegung der Membran dient auch durch Hebelübertragung zur wechselnden Oeffnung und Schliessung der Ventile. So lange der Raum B einfach die Atmosphäre ist, kann der Apparat nur bei uneröffnetem Thorax wirken. Will man den Apparat auch bei eröffnetem Thorax anwenden, so muss der Raum B ein geschlossener Raum sein, in dem die Luft unter positiven Druck, z. B. durch ein Wassergebläse gesetzt wird.

Operation zum Blutdruckversuch. Die Carotis wird freigelegt, wie beim Stromuhrversuch. Das periphere Ende des freigelegten Stückes wird zugebunden, das centrale mit Klemmpincette abgeklemmt. Dann wird die Carotis eröffnet, eine passende Canüle in der Richtung nach dem Herzen hin eingeführt und festgebunden.

Ferner werden auf beiden Seiten die Nervi vagi auf eine Strecke hin frei gelegt und Fäden unter ihnen durchgeführt.

Auch der Nervus depressor, der nach innen vom Vagus und hinter der Carotis innen neben dem Sympathicus verläuft, wird freigelegt auf einer Seite, falls man die Wirkung seiner Reizung auch studiren will, und ein Faden unter ihm durchgezogen. Der Sympathicus ist vom Depressor zu unterscheiden durch sein matteres Aussehen. Ist man im Zweifel, welches der Depressor, welches der Sympathicus ist, so verfolgt man die Nerven nach oben, wo der Depressor an seinem Ursprung aus Vagus und Laryngeus (siehe Fig. 138, S. 257) zu erkennen ist, oder nach unten, wo der Sympathicus in das letzte Halsganglion übergeht.

Die Canüle wird nun mit gerinnunghemmender Flüssigkeit gefüllt und durch ein knappes Stück dickwandigen Gummischlauchs mit der Manometerleitung verbunden, nachdem man das Operationsbrett so neben dem Manometer aufgestellt hat, dass die Verbindung leicht möglich ist. An den Verbindungsstellen bindet man den Gummischlauch auf die Canüle resp. die Glasröhre der Manometerleitung mit Faden fest auf. Jetzt erfolgt eventuell die Curarevergiftung.

Versuch. Man löst die Klemmpincette und lässt die Trommel laufen.

Hier sei darauf aufmerksam gemacht, dass der Blutdruck, den wir so bestimmen, nicht etwa der normale Blutdruck in der Carotis ist, sondern

gleich ist dem Blutdruck in der Aorta an der Stelle, wo die abgebundene Carotis von ihr abgeht.

Der Zeichner des Manometers erhebt sich nun sofort über die Nulllinie, stellt sich aber nicht auf eine bestimmte Höhe bleibend ein, sondern zeichnet periodische Schwankungen, die den Pulscurven ähnlich sehen und in der That der Ausdruck der Pulswellen sind.

Die genaue Ausmessung der Curven und Berechnung des absoluten Blutdrucks mit Hilfe der Graduirung geschieht am besten nach dem Versuch, wenn man die Tafel fixirt hat.

Ausser den periodischen Schwankungen in Folge der Herzthätigkeit treten noch solche auf, die synchron mit den Athembewegungen sind: Bei der Inspiration liegen die Pulscurven durchschnittlich etwas tiefer als bei der Exspiration.

Nun werden folgende Versuche gemacht:

1. Man reizt einen sensiblen Hautnerven, indem man das Thier an irgend einer Hautstelle, etwa der hinteren Extremität, kneift oder mit tetanisirenden Inductionsströmen reizt: der Blutdruck steigt etwas, die Zahl der Herzschläge in der Zeiteinheit wird etwas geringer.

2. Man übe auf den Bauch einen Druck mit der flach aufgelegten Hand einige Zeit hindurch (1 Minute lang) aus: dieselbe Erscheinung wie bei 1.

3. Man behindere für einige Zeit die Athmung, am curaresirten Thiere durch Aufhören der künstlichen Athmung, am nicht curaresirten durch Zuhalten von Mund und Nase oder durch Zusammendrücken der Trachea: die Herzschläge werden seltener.

Am nicht curaresirten Thiere nimmt man bei mechanischer Behinderung der Athmung die Druckschwankungen synchron der Athemthätigkeit deutlicher wahr. Beim curaresirten Thiere, das nicht athmet, sind aber die „respiratorischen" Druckschwankungen auch noch zu beobachten.

4. Man ziehe den Nervus depressor an dem unter ihm durchgezogenen Faden hervor und bindet den Faden möglichst weit unten am Nerven fest. Dann durchschneidet man den Nerven unterhalb der angeschlungenen Stelle, zieht mit dem Faden den centralen Stumpf heraus, legt ihn den Reizelektroden auf und reizt. Der Blutdruck sinkt danach, die Herzschläge werden seltener.

5. Man ziehe an den untergelegten Fäden nach einander die beiden Vagi hervor und schlingt die Fäden möglichst weit oben

an ihnen an und durchschneidet sie dann oberhalb des Knotens. Die Durchtrennung der Vagi hat keinen bleibenden Effect.

6. Nun stelle man die Versuche unter 1, 2, 3 und 4 nochmals an. Die Veränderung der Zahl der Herzschläge bleibt jetzt in den meisten Fällen aus, nicht die des Blutdruckes. Allerdings kommt es vor, dass auch nach der Durchschneidung der Vagi noch ein Einfluss der genannten Eingriffe auf die Frequenz der Herzschläge zu beobachten ist, wenn auch geringer als vor Durchschneidung der Vagi.

7. Jetzt wird der periphere Stumpf eines der durchschnittenen Vagi auf die Reizelektroden aufgelegt und einige Secunden hindurch gereizt. Solche Versuche macht man mehrere bei verschiedener Reizstärke. Bei schwachen Reizen wird die Zahl der Herzschläge geringer, bei starken hört das Herz ganz auf zu schlagen und der Blutdruck sinkt ganz bedeutend herab.

Diese Wirkung zeigt sich nicht unmittelbar im Moment des Beginnes der Reizung, sondern es vergeht bis zu ihrem Eintritt eine merkliche Zeit. Nach Aufhören der Reizung stellt sich die normale Herzthätigkeit wieder her, aber auch erst nach einiger Zeit.

Nun ist der Versuch beendet. Man klemmt die Carotis zu, nimmt das Manometer ab. Das Thier wird durch Verbluten aus der Carotis getödtet. Man nimmt danach die Aufstellung aus einander und reinigt alles, besonders das Manometer. Die Flüssigkeit wird aus ihm entfernt.

Die erhaltenen Curven werden fixirt, nachdem man sie noch mit Notizen, die Versuche betreffend, versehen hat. Später stellt man mit Hilfe der Graduirung die Höhe des Blutdrucks und seine Schwankungen absolut, in Millimeter Hg, fest, und bestimmt auch auf Grund der mit aufgezeichneten Zeitmarken die Zahl der Herzschläge in 1 Secunde bei den einzelnen Versuchsabschnitten genau.

Den mittleren Blutdruck kann man nicht etwa einfach in der Art berechnen, dass man das arithmetische Mittel aus dem Maximum und Minimum der Schwankung nimmt. Dies würde nur dann gehen, wenn der Blutdruck vom Minimum zum Maximum geradlinig ansteigt und ebenso vom Maximum zum Minimum sinkt. Um den mittleren Blutdruck während einer bestimmten Zeit zu berechnen, muss man die Fläche ausmessen, die von dem dieser Zeit entsprechenden Stück Abscissenaxe, der Blutdruckcurve und den beiden Endordinaten begrenzt wird, — diese Flächenmessung geschieht mit dem Planimeter, das hier nicht beschrieben werden kann. Man dividirt den Inhalt der Fläche durch die Länge des Abscissenstücks und erhält so die Länge der Ordinate, die dem mittleren Druck in dem besagten Zeitabschnitt entspricht.

Messung des Blutdrucks in der Aorta und im Herzen beim Hund. In derselben Weise wie beim Kaninchen lässt sich auch der Blutdruckversuch

beim Hunde anstellen. Hier ist es sogar gar nicht schwierig, die Druckänderungen in der linken Herzkammer zu registriren. Es wird zu dem Zweck in die rechte oder linke Carotis eines mittelgrossen Hundes eine Kanüle eingeführt, die in einer etwa 28 cm langen Metallröhre oder einem dünnen Katheter besteht. Dieselbe hat eine gedeckte Spitze mit seitlicher Oeffnung. An das andere offene Ende ist ein Stück Gummischlauch angesetzt, der zum Verbinden mit dem Manometer dient. Die Kanüle ist gefüllt mit einer gerinnunghemmenden Flüssigkeit. Damit diese nicht ausfliesst und das Blut auch nicht beim Einführen der Kanüle ausspritzt, wird der Gummischlauch, bis die Verbindung mit dem Manometer erfolgt ist, zugeklemmt gehalten. Die Kanüle wird in die Carotis eingeführt, nachdem sie vorher etwas mit Oel oder Seife bestrichen worden ist, dann die Klemmpincette gelöst und die Kanüle gleich weiter in die Arterie nach dem Herzen hingestossen. Es geht das ohne Widerstand bis vor die Aortenklappen. Hier fängt sich die Kanülenspitze leicht in den Klappen. Man darf dann, wenn man Widerstand findet, nicht stark weiter stossen, sondern muss die Kanüle ein wenig zurückziehen. Man zieht die Kanüle nun immer hin und her, bis man es trifft, dass die Kanüle ohne Widerstand sich weiter schieben lässt. Dann liegt das Ende im linken Ventrikel. Nun wird das äussere Kanülenende mit dem Manometer verbunden, das gerade so hergerichtet ist, wie beim Kaninchenversuch.

Auch Kanülen, die am Ende glatt abgeschnitten und offen sind, können verwendet werden; dieselben müssen aber bei der Einführung durch einen Stab ausgefüllt sein, dessen abgerundete Spitze etwas hervorragt, weil sonst die Gefässe durch die scharfen Ränder der Röhre leicht verletzt werden.

Hat man die Curven verzeichnet, so kann man danach die Kanüle etwas zurückziehen, so dass ihr Ende nun nicht mehr im linken Ventrikel, sondern im Anfangstheil der Aorta liegt. Man erhält dann auch Blutdruckcurven vom Anfangstheil der Aorta, die mit den vom Ventrikel gelieferten verglichen werden können.

Von Hürthle ist übrigens eine doppelläufige Kanüle angegeben worden, die es gestattet, den Druck im Ventrikel und der Aorta gleichzeitig zu registriren. Die Anordnung ist dabei gerade so, als ob man zwei solcher langer Kanülen neben einander legt, von denen die eine in dem Ventrikel, die andere in der Aorta endigt. Nach demselben Verfahren kann übrigens auch der Druck im rechten Vorhof und Ventrikel gemessen werden, wenn man die lange Kanüle von der Vena jugularis aus einschiebt.

Das Verfahren ist zuerst angewandt worden von Fick, Würzburger Verhandlg., N. F. IV, S. 197, 1872.

Weitere Literatur siehe bei:

v. Frey, Die Untersuchung des Pulses, Berlin 1892, und Du Bois-Reymond's Archiv f. Physiol., 1893, S. 1.

Hürthle, Pflüger's Archiv, Bd. 49, S. 29, u. 55, S. 319.

In den citirten Abhandlungen findet man auch ältere Literatur.

Chauveau und Marey (Mémoires de l'académie de médecine 26, S. 273, 1863) führen in das Herz die sogenannten kardiographischen Sonden ein, das sind Rohre, deren Spitze eine Kautschukblase trägt. Diese ist durch Drahtgerippe so unterstützt, dass sie nicht ganz zusammengedrückt werden kann. Das freie Ende der Sonde ist mit einer Registrirtrommel verbunden. Man kann zwei Kautschukblasen mit den dazu gehörigen Röhren zu einer einzigen Sonde vereinigen, so dass die eine Blase in den Vorhof, die andere in die Kammer zu liegen kommt.

Betreffs Festhalten und Narkotisiren von Hunden siehe Kapitel LIX.

XLVIII. Kapitel.

Blutdruckmessung beim Menschen.

I. Messung des arteriellen Blutdrucks nach v. Basch.

Man misst den arteriellen Blutdruck beim Menschen nach folgendem Princip: Ein mit Wasser gefülltes Kautschukbeutelchen, das mit einem Manometer in Verbindung steht, wird gegen eine möglichst oberflächlich und auf einer festen Unterlage (Knochen) liegende Arterie gedrückt und zwar so stark, dass gerade der Puls peripher von der gedrückten Stelle nicht mehr zu fühlen ist, dass also die Arterie gerade ganz zusammengedrückt ist. Die Grösse des Drucks ergiebt sich aus dem Stand des Manometers. Die Arteria radialis eignet sich bei manchen Individuen zu solchen Versuchen.

Von den Apparaten, die dazu verwendet werden, hat sich am meisten eingebürgert das **Sphygmomanometer von v. Basch**, das in zwei Formen existirt.

1. Die ältere: hier ist als Manometer ein Quecksilbermanometer verwendet.

Die Kautschukblase wird durch eine Kautschukkappe gebildet, welche der unteren Oeffnung eines kurzen weiten Röhrchens aufgebunden ist. In dem Röhrchen befindet sich eine Glaskugel, die etwa zur Hälfte mit Quecksilber gefüllt ist. In die Glaskugel ragt von oben bis beinahe auf deren Boden eine enge Steigröhre. Die Glaskugel communicirt durch ein Loch in ihrer oberen Hälfte mit dem Binnenraum des zuerst erwähnten Röhrchens, und dieser Binnenraum ist mit Wasser gefüllt, das Röhrchen im Uebrigen oben durch einen Deckel geschlossen, aus dem die Steigröhre emporragt. Drückt man auf die Kautschukkappe, so entweicht Flüssigkeit aus dem Röhrchen in die Glaskugel und drückt auf das Quecksilber, das in der Steigröhre in die Höhe steigt. Die Kautschukkappe ist mit einer Kappe aus Seidenzeug umgeben, die es verhindert, dass die Kautschukkappe durch den Druck zu sehr seitlich ausgebuchtet wird. An einer Skala zur Seite der Steigröhre liest man die Höhe der Quecksilbersäule in der Steigröhre ab. Der Unterarm wird in einem Lager befestigt. Mit diesem Lager fest verbunden ist ein Stativ, an dem das Sphygmomanometer durch Muffe verstellbar

befestigt wird. Die feine Einstellung des Manometers kann mit einer Mikrometerschraube geschehen, die den Apparat in senkrechter Richtung verschiebt.

2. Die neuere: besteht in einem nach dem Princip der Aneroidbarometer gebauten Apparat, mit dem der Kautschukbeutel, der der Arterie aufgedrückt wird, durch einen Gummischlauch verbunden ist. Die seitliche Ausbuchtung der Kautschukkappe wird entweder durch eine Metallhülse oder durch eine besondere „Pulskappe" aus Kautschuk mit dicker Seitenwand verhindert.

Da es nicht leicht ist, anzugeben, wann der Puls peripher von der gedrückten Stelle verschwunden ist, wenn man ihn mit dem Finger fühlt, so kann man sich die Beobachtung des Pulses noch so erleichtern: Man spannt quer über den Arm peripher von der gedrückten Stelle einen Gummischlauch herüber und legt unter den Gummischlauch der Arterie ein kleines Fischbeinplättchen auf, an das an der nach dem Apparat zu sehenden Seite ein leichter langer Strohhalm in einem Winkel angekittet ist, so dass der Strohhalm frei emporragt. Das freie Ende des Strohhalms, an das man ein Papierfähnchen befestigt, lässt die Pulsbewegung vergrössert erkennen. Man drückt nun den Gummibeutel des Manometers der Arterie so weit auf, bis diese Bewegungen gerade nicht mehr zu sehen sind.

v. Basch und andere haben gefunden, dass der zum Unterdrücken des Pulses nothwendige Aussendruck dem wirklichen Blutdruck gleich ist, wenn man den Versuch an einer freigelegten isolirten Arterie macht, die auf einer festen Unterlage liegt.

Diese Bedingungen sind, streng genommen, bei den Blutdruckmessungen am Menschen nicht zu erfüllen. Die Methode kann daher nur annähernd richtige Resultate liefern bei Individuen, bei denen die Radialis möglichst oberflächlich liegt und gegen eine feste Unterlage, Knochen oder stark gespannte Sehnen gedrückt werden kann. Der so erhaltene Druck ist immer noch höher als der Blutdruck, etwa 6—8 mm. Man kommt den günstigsten Versuchsbedingungen dadurch noch näher, dass man die Versuchsperson die Hand in Hyperextension halten lässt.

Sind die Bedingungen nicht so günstig, so können die Fehler sehr gross werden — bis zu 78 mm Quecksilbersäule zu viel.

Es hat daher zu physiologischen Zwecken nur Sinn, solche Versuche an Individuen mit den günstigsten Bedingungen anzustellen, um ungefähr die Grösse des Blutdrucks zu messen.

Zu klinischen Zwecken kann das Manometer freilich doch mit Vortheil auch bei Individuen mit ungünstigen Bedingungen da angewandt werden, wo es sich um Bestimmung der Blutdruckschwankungen an ein und derselben Person zu verschiedenen Zeiten handelt, wo man also die Werthe nur unter einander vergleichen will, und es nicht so sehr auf absolut richtige Werthe ankommt.

Von Literatur sei erwähnt:

v. Basch, Zeitschr. f. klin. Medicin 1880, II, S. 79—96.
v. Basch, Wiener medic. Wochenschrift 1883.
v. Basch, Berliner klinische Wochenschrift 1887, Nr. 11 u. ff. (enthält auch Angabe der bis dahin erschienenen Literatur).
Rosen, Ueber die Verwendbarkeit des v. Basch'schen Sphygmomanometers zu Blutdruckmessungen. Dissertation. Dorpat 1891.

II. Capillarer Blutdruck.

Siehe: N. v. Kries, Arbeiten aus der physiol. Anstalt zu Leipzig 1875.

Princip. Es wird ein Glasplättchen auf das Nagelglied der Rückenseite eines Fingers aufgedrückt, so dass sich die Haut darunter eben zu verfärben anfängt, und der Druck gemessen. Dieser Druck, durch den eben die Capillaren comprimirt werden, wird in Millimeter Quecksilbersäule umgerechnet und giebt so den capillaren Blutdruck an.

Apparat (Fig. 143). Auf eine Glasleiste, 2 cm lang, 3—4 mm breit, 1 mm dick, ist in der Mitte der unteren Fläche ein Glasplättchen a, 2,5—5 mm^2 gross mit Damarlack aufgekittet. Die Glasleiste hat an der Seite umgebogene Enden und daran befestigt eine Fadenschlinge, die nach unten hängt und an der eine Pappschaale zum Auflegen von Gewichten hängt. Der Finger steckt so in der Schlinge, dass das Plättchen a dem Nagelglied seiner Rückenfläche aufliegt. Die Hand und der Unterarm ruhen auf einem auf vier Füssen stehenden Brett auf, das für die nach unten hängende Fadenschlinge und Schaale einen passenden Ausschnitt hat.

Fig. 143.

Anstellen des Versuches. Man belastet bei dieser Aufstellung die Schaale nach einander mit immer grösseren Gewichten, bis man wahrnimmt, dass die gedrückte Stelle eben merklich sich von der Umgebung bezüglich der Farbe unterscheidet.

Die Berechnung des Druckes geschieht so: Das drückende Gewicht ist gleich dem auf die Gewichtsschaale aufgelegten plus dem des Apparats; dasselbe wird in Gramm gemessen. Die Fläche des Glasplättchens a, die Druckfläche, wird in Quadratcentimetern gemessen. Dann erhält man den Druck in Centimeter Wassersäule, wenn man die Zahl für das drückende Gewicht durch die Zahl für die Druckfläche dividirt. Daraus lässt sich in bekannter Weise der Druck in Millimeter Quecksilbersäule berechnen.

v. Kries fand so im Falle, dass die Hand 49 cm tiefer als der Scheitel gehalten wurde, einen Druck von 37,7 mm Hg.

Der Druck ist verschieden bei verschiedener Lage der Hand zum Scheitel. Näheres darüber bei v. Kries.

Um den Druck an anderen Hautstellen zu messen, hat v. Kries noch zwei andere Apparate angegeben, das „Stativ“ und den „Hebel“.

Beim „Stativ“ befindet sich auf der Glasleiste ein leichtes Gerüst aus Tannenholzstäbchen, zwischen denen man das Glasplättchen a beobachten kann und die oben eine Schaale für die Gewichte tragen. Eine passende Führung sorgt dafür, dass das „Stativ“ nicht umfällt.

Der „Hebel“ besteht aus einem 6—8 cm langen Glasstreifen, der an seinem einen Ende das Glasplättchen trägt, das der Haut aufgedrückt wird, an seinem anderen Ende auf einer Schneide beweglich ist. Der „Hebel“ wird in seiner Mitte mit Gewichten belastet.

XLIX. Kapitel.

Reizung der Medulla oblongata und des Vagus beim Frosch.

1. Vagus. Bei einem schwach curaresirten[1]) oder einem in Rückenlage aufgebundenen unvergifteten Frosch wird das Herz frei gelegt, das Sternum entfernt, die vorderen Extremitäten aus einander gezogen. Man findet den Nerven in einer

[1]) Bei zu starker Curarevergiftung sind die Herzhemmungsfasern des Vagus gelähmt.

Linie, die man etwa vom hinteren Ende des Unterkiefers (K, Fig. 144) bis zum Vorhof zieht. Der Nerv, V, liegt hier ziemlich in der Tiefe; um ihn besser präpariren zu können, stecke man ein Glasrohr oder eine Stange Siegellack in die Speiseröhre, dann wölbt sich die Partie, an der aussen der Nerv verläuft, besser hervor.

In der Linie vom Kieferwinkel zum Vorhof verlaufen folgende Nerven:

1. Glossopharyngeus (G P, Fig. 144), am weitesten nach vorne, biegt bald nach dem Kieferwinkel zu ab.

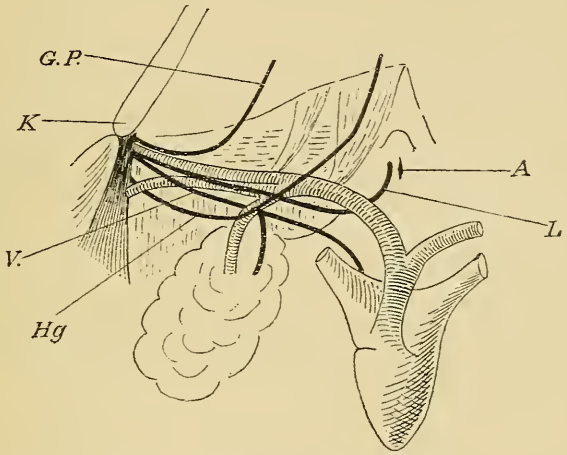


Fig. 144.
Schema der Halsnerven des Frosches.

2. Hypoglossus Hg windet sich in einer Schlinge um den Vagus und geht nach vorne.

3. Vagus V mit dem Laryngeus L. Diese beiden Nerven verlaufen annähernd parallel, ziemlich genau in der Linie vom Kieferwinkel zum Herzen. Der Laryngeus biegt nach vorne ab, der Vagus theilt sich in zwei Zweige, einen zum Herzen, einen zur Lunge.

Man präparire nun den Vagus so weit wie möglich nach hinten frei, wobei man alles, was im Wege steht, wegschneiden kann. Nur hüte man sich, Vagus und Herz zu verletzen. Dann schlingt man den Vagus so weit wie möglich in der Tiefe mit Faden an und durchschneidet ihn, so dass der periphere Stumpf an der Schlinge bleibt. Diesen Stumpf zieht man nun mit dem

Faden hervor, legt ihn auf die Reizelektroden und reizt. Es steht das Herz in Diastole still. Hört man auf zu reizen, so beginnt das Herz nach einiger Zeit wieder zuerst schwach, dann stärker zu schlagen.

Man kann die Bewegung des Herzens vor, während und nach der Vagusreizung auch graphisch registriren in früher beschriebener Weise, und so auch die Zeit bestimmen, die vergeht, vom Beginn der Reizung bis zum Eintritt der Wirkung.

Wenn die Vagusreizung missglückt, so kann man das noch leistungsfähige Herz durch Reizung des hinteren Sulcus an den Vorhöfen zum Stillstand bringen.

2. **Medulla oblongata.** Schwach curaresirter Frosch. Man stellt sich zwei Elektroden aus Nähnadeln her, die man in einem Abstand von 2 mm von einander isolirt an einander bindet, so dass die Spitzen frei sind. Zu den Nähnadeln führen die Drähte der secundären Leitung. Das Spitzenpaar sticht man nun in den Rücken des Frosches an der Stelle ein, die der Lage der Medulla oblongata entspricht, d. i. kurz vor dem vorderen Rande der Schulterblätter.

Das Herz wird zur Beobachtung durch Eröffnung der Brusthöhle freigelegt. Reizung der Medulla oblongata bewirkt Stillstand des Herzens in Diastole.

Anhang. **Goltz'scher Klopfversuch.** Bei einem auf dem Froschbrett in Rückenlage aufgebundenen oder bei einem schwach curaresirten auf den Rücken gelegten Frosch legt man das Herz durch Eröffnung der Brusthöhle frei. Nun übt man mit einem Scalpellstiele eine Reihe von leichten Schlägen schnell nach einander auf den Bauch aus: das Herz steht danach still. Der Stillstand kommt reflectorisch zu Stande (Uebertragung des Reizes von den sensiblen Eingeweidenerven durch die Medulla oblongata auf den Vagus). Der Versuch gelingt oft noch besser, wenn man auch die Baucheingeweide freilegt und sie direct klopft.

L. Kapitel.

Lymphherzen beim Frosch.

Die beiden hinteren Lymphherzen (l, Fig. 145) liegen zu beiden Seiten des Steissbeins in dem Dreieck zwischen Musculus coccygeo-iliacus, ci, glutaeus, g, Ursprung des Vastus externus, ve, und pyramidalis, py. Das Lymphherz zeigt eine unebene Oberfläche, indem diese zwischen den stärkeren Muskelbalken wie blasig aufgetrieben erscheint. Es hängt mit seiner Umgebung fest zusammen, besonders dorsalwärts mit der den M. coccygeo-iliacus bedeckenden Fascia ileo-coccygea, nach hinten mit dem Levator ani und pyramidalis.

Ein Frosch, dessen Gehirn ohne Blutung zerstört ist (siehe Kapitel XXIII), wird in Bauchlage auf dem Froschbrett aufgebunden. Man entfernt möglichst ohne Verletzung von Blutgefässen die die Lymphherzen bedeckende Haut und sieht sie dann schlagen.

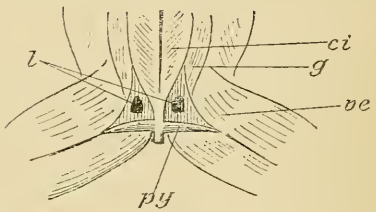


Fig. 145.

Man beachte, dass die Zahl der Schläge anders ist, als die Zahl der Herzschläge.

Zerstört man das Rückenmark, so hören die Bewegungen auf.

Da die Lymphherzen auf der Rückenseite mit der Fascie und anderen Theilen fest verwachsen sind, ist es schwierig, sie von da aus ganz zu präpariren. Es gelingt das leichter von der Bauchseite her.

LI. Kapitel.

Sympathicusdurchschneidung und -reizung beim Kaninchen.

Verwendet wird am besten ein Albino. Der Hals-Sympathicus einer Seite wird frei gelegt (Operation wie bei Freilegen von Carotis und Vagus) und das frei gelegte Stück an einer Stelle

möglichst weit unten angeschlungen und unterhalb des Knotens durchschnitten.

Man beobachte vor und nach der Durchschneidung die Arterien beider Ohren, die sichtbar sind, wenn man das Ohr gegen das Licht hält. Vor der Durchschneidung zeigen sie auf beiden Seiten keinen Unterschied in der Weite, nach der Durchschneidung sind sie auf der operirten Seite weiter, als auf der unverletzten und das Ohr fühlt sich hier wärmer an, als das andere.

Man ziehe den oberen Stumpf des Sympathicus an dem Faden hervor und lege ihn auf Reizelektroden. Reizt man in bekannter Art, so sieht man die Gefässe des zugehörigen Ohres sich einige Zeit danach verengern. Das Ohr wird ganz blass. Wenn die Reizung aufhört, tritt wieder Erweiterung ein.

Ferner lässt sich bei Sympathicusreizung noch beobachten:
1. Erweiterung der Pupille der zugehörigen Seite.
2. Vermehrte Thränensecretion.

IV. Abschnitt.

Athembewegungen.

LII. Kapitel.

Versuch über die Wirkung der Musculi intercostales [1].

Die Wirkung der Musculi intercostales lässt sich veranschaulichen an einer schematischen Nachbildung der Rippen, bei der die Muskeln durch ausgeschnittene Froschmuskeln dargestellt sind.

Aus zwei 24 cm langen (a, a_1, Fig. 146) und zwei 11 cm langen (b, b_1) Holzleistchen stellt man sich ein rechteckiges Gestell her durch Einschlagen von je 1 Nagel auf die Enden der auf einander gelegten Leisten. Die Leisten müssen um Axen gegen einander beweglich sein, die durch die Nägel gehen, was man dadurch erreicht, dass man in jeder Ecke der langen Leisten ein Loch bohrt, das dem Nagel etwas Spielraum lässt, den Nagel dadurch steckt und in die darunter gelegte kurze Leiste fest einschlägt. Nun klemmt man eine kurze Seite, etwa b_1, senkrecht stehend fest an ein Stativ. Es würde dann die Leiste b ganz nach unten sinken. Man verhindert dies durch einen dünnen Kautschukfaden oder -schlauch, der bei c an das Gestell befestigt wird, mit seinem

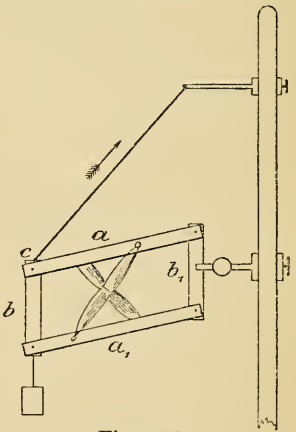


Fig. 146.

[1] Nach Gad, Du Bois-Reymond's Archiv f. Physiol., 1878, S. 584.

anderen Ende oben am Stativ, so dass er das Gestell in der Pfeilrichtung nach oben zieht. Dieser Gummifaden wird so angezogen, dass die langen Leisten des Gestells nur wenig nach abwärts geneigt sind.

Dieses Schema soll die Theile des Brustkorbs nachahmen: das kurze festgeklemmte Stück ist die Wirbelsäule, die langen Leisten sind zwei Rippen, die kurze freie das Brustbein.

Man präparire von zwei Fröschen die Doppelsemimembranosi und -graciles und befestige sie mit Fäden an ihren Enden so an Stifte, die in die langen Leisten eingeschlagen werden, dass das eine Präparat auf der einen Seite des Gestells von einem Punkte oben rechts der oberen Leiste zu einem solchen unten links der unteren geht — das entspricht dem Intercostalis externus —, während das andere von oben links nach unten rechts auf der anderen Seite des Gestells liegt — entsprechend dem Intercostalis internus. Die Muskeln werden mässig gespannt festgebunden.

Ein Inductionsapparat giebt von der secundären Rolle Drähte zum Tetanisirschlüssel, von da zu einer Wippe ohne Kreuz. Das eine Drahtpaar von der Wippe wird zum einen, das andere zum anderen Präparate geleitet. Nun wird beim Gange des Wagner'schen Hammers und nach Oeffnen des Schlüssels die Wippe bald nach der einen, bald nach der anderen Seite umgelegt, es erfolgt abwechselnde Contraction der beiden Präparate und dadurch abwechselnd Hebung und Senkung der schematischen Rippen, je nachdem das den Intercostales externi oder den interni entsprechende Präparat gereizt wird. Die Erhebung durch die Externi erfolgt auch noch, wenn man an das Schema bei d mittels Faden Gewichte anhängt, die mit gehoben werden müssen.

LIII. Kapitel.

Bewegung des Zwerchfells, beobachtet beim Kaninchen.

Die Beobachtung wird zweckmässig an dem Thiere gemacht, das vorher zum Studium der peristaltischen Bewegung des Darms gedient hat (Kapitel LX).

Die Bauchhöhle wird durch einen Schnitt in der Linea alba eröffnet. Wenn die dadurch gesetzte Oeffnung noch nicht weit

genug für die Beobachtung ist, werden noch zwei nach beiden Seiten hin gerichtete Querschnitte angelegt. Etwaige Blutungen werden durch Unterbindung gestillt.

Nun ziehe man Magen und Leber mit der Hand etwas nach unten, so dass das Zwerchfell frei zu sehen ist. Das dünne Ligamentum suspensorium der Leber reisst dabei von selbst durch oder wird durchschnitten.

Das Zwerchfell, das sich in den Brustkorb hineinwölbt, sieht da, wo die Lungen ihm anliegen und durchscheinen, hell rosa aus, am Rande, wo es der Thoraxwand anliegt und die Muskeln der Thoraxwand durchscheinen, dunkelroth. Bei der Bewegung des Zwerchfells durch die Athemthätigkeit steigt die Kuppe bei der Inspiration nach abwärts, die Wölbung wird geringer. Zugleich wird die hell rosa gefärbte Partie breiter, der dunkelrothe Saum am Rande schmäler, weil sich das Zwerchfell von der Brustwand abhebt und in den so entstehenden Raum zwischen Thoraxwand und Zwerchfell die Lunge sich einschiebt.

Um die Zwerchfellbewegungen genau graphisch zu registriren, benutzt man einen besonderen Apparat, den sogenannten Phrenographen. Rosenthal[1]) hat denselben zuerst angegeben. Später ist er von anderen Autoren modificirt worden.

Ein passend geformter Hebel wird durch einen kleinen, etwa 1 Zoll langen Schnitt in der Linea alba unmittelbar unter dem Processus xiphoides zwischen Zwerchfell und Leber eingeschoben. Der Hebel wird durch die Lageveränderungen des Zwerchfells bewegt und man kann seine aussen in Erscheinung tretende Bewegung direct oder durch Luftübertragung auf einen Zeichenhebel übertragen und aufzeichnen.

LIV. Kapitel.

Registrirung der Formveränderung des Brustkorbs.

1. Registrirung der Querschnittsänderung. Pneumograph.

a) Apparat von Marey-Bert. Ein Metallcylinder ist an beiden Enden verschlossen durch Kautschukmembranen, auf welche Metallplättchen mit Häkchen aufgeklebt sind. Die Häkchen hängen an einem Band, das um den Brustkorb gelegt und mit Schnalle be-

[1]) Die Athembewegungen. Berlin 1863.

festigt wird. Erweitert sich der Querschnitt des Brustkorbs an der umgürteten Stelle, so werden die beiden Gummimembranen aus dem Cylinder herausgezogen, die Bewegung wird durch Luftübertragung registrirt, der Leitungsschlauch zur Trommel ist in Verbindung mit einer seitlichen Oeffnung des Cylinders.

b) Neuer Pneumograph von Marey. Das um die Brust geschnallte Band $B B_1$ (Fig. 147) zieht an den Armen $A A_1$, die an der elastischen Stahlplatte S befestigt sind. Die Stahlplatte wird gebogen durch den Zug an $A A_1$. Neben dem einen Arm A ist ein Bügel

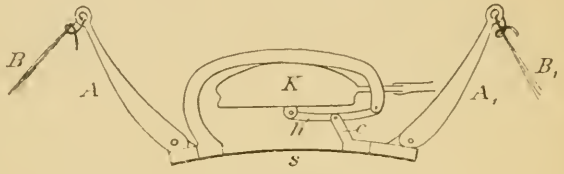


Fig. 147.

befestigt, der eine Aufnahmekapsel K trägt und ferner an seinem Ende einen Hebel h, dessen anderes Ende mit dem Knopf der Aufnahmekapsel gelenkig verbunden ist. Dieser Hebel wird von dem mit ihm gelenkig verbundenen Fortsatz c des Armes A_1 bewegt, wenn A und A_1 aus einander gebogen werden. Die Bewegung des Hebels h wird durch die Aufnahmekapsel K aufgenommen und durch Luftübertragung auf einen Schreibhebel übertragen.

2. Die Registrirung der Bewegung einzelner Punkte der Thoraxwand

geschieht durch eine an den gewählten Punkt angelegte an einem Stativ befestigte Aufnahmekapsel. Eigens zu diesem Zweck ist z. B. eine Kapsel mit Stativ von Bert angegeben worden.

3. Registrirung der Veränderung einzelner Durchmesser des Thorax.

a) Pneumograph von Fick (Fig. 148). Ein dem Tasterzirkel ähnlich gebautes Instrument; die Spitzen seiner beiden Arme a und a_1 werden den beiden Punkten des Thorax der Versuchsperson angelegt und durch ein zwischen beiden Armen ausgespanntes

Gummiband g dem Thorax angedrückt gehalten. Die Arme des Zirkels sind über die Axe hinaus etwas verlängert und fassen hier zwischen sich eine Vorrichtung ähnlich einer Spritze oder einem Piston-recorder: ein Glascylinder c ist an dem Ende des einen Arms befestigt, ein Kolben k darin durch ein zu verstellendes Gestänge s mit dem anderen Arm gelenkig verbunden. Bei Bewegung der Arme des Tasterzirkels, die durch Veränderung des Thoraxdurchmessers erfolgt, geht der Kolben im Cylinder hin und her. Durch Luftübertragung wird diese Bewegung registrirt. Die Ver-

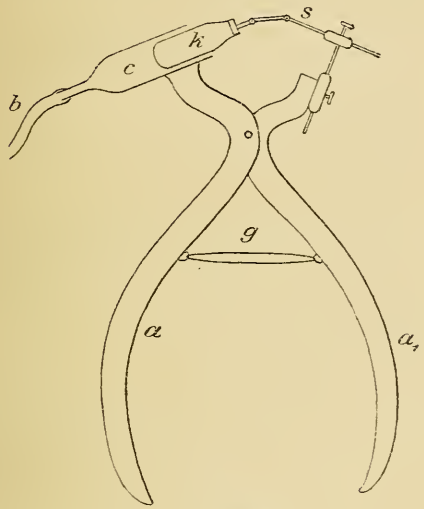


Fig. 148.

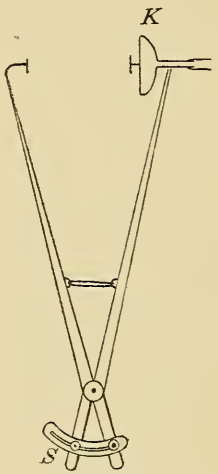


Fig. 149.

bindung mit der Luftleitung findet sich bei b. Man hält den Apparat mit der Hand so am Thorax der Versuchsperson, dass seine Bewegungsfähigkeit nicht gestört ist.

b) **Der Apparat von Bert** (Fig. 149) ist auch ein Tasterzirkel, bei dem aber die beiden Arme durch eine Schraube bei S (Fig. 149) festgestellt werden und bei dem die Bewegung des Thoraxdurchmessers aufgenommen wird durch eine Aufnahmekapsel K an der Spitze des einen Zirkelarms.

Mit Hilfe einer der sub 1 beschriebenen Vorrichtungen nehme man zunächst auf die Kymographiontrommel Curven der Veränderung von Querschnitten des Thorax in verschiedener Höhe bei

einem Menschen, der ruhig zu athmen hat, auf. Es ergiebt sich, dass überall Querschnittsvergrösserung bei der Inspiration, Querschnittsverkleinerung bei der Exspiration statt hat.

Die Curven geben zugleich Aufschluss über den Ablauf der Athembewegungen. Es zeigt sich, dass die Inspiration in kürzerer Zeit abläuft als die Exspiration, und dass in dem regelmässigen Wechsel zwischen Inspiration und Exspiration keine Pause mit Athemruhe vorhanden ist.

Mit einem der sub 3 beschriebenen Apparate stelle man Untersuchungen über die Veränderungen verschiedener Durchmesser an. Unter anderem empfehlen sich folgende Versuche:

1. Durchmesser von vorne nach hinten (Sagittaldurchmesser):
   a) in der Höhe der Brustwarzen,
   b) in der Höhe des Schwertfortsatzes.
2. Durchmesser von rechts nach links auch in den sub 1a und b bezeichneten Höhen.

Es ergiebt sich für den normal ruhig und ungezwungen athmenden Menschen, dass sämmtliche Durchmesser sich bei Inspiration vergrössern, bei Exspiration verkleinern. Dabei zeigt sich, dass oben die Erweiterung des sagittalen Durchmessers etwas grösser ist als die des transversalen, unten dagegen kleiner.

Es ist nicht schwer, die normale Athmung so zu ändern, dass nur mit dem Zwerchfell geathmet wird, die Rippenheber also in Ruhe bleiben. Wenn man die Versuchsperson reine Zwerchfellathmung vollführen lässt und die Veränderung des Transversal- und Sagittaldurchmessers in der Höhe des Zwerchfellansatzes, d. i. in der Höhe des Schwertfortsatzes registrirt, so nimmt man wahr, dass der Sagittaldurchmesser sich hier bei Inspiration vergrössert, der Transversaldurchmesser aber verkleinert. Letzteres ist dadurch bedingt, dass das Zwerchfell bei seiner Contraction seine Ansatzpunkte einander zu nähern sucht. Das ist für die seitlichen Ansatzpunkte möglich, nicht aber für die vorderen und hinteren, weil hier die zusammengedrückten Baucheingeweide den Durchmesser erweitern.

LV. Kapitel.

Spirometer. Messung der Vitalcapacität.

Das Spirometer von Hutchinson (Fig. 150) besteht aus einem oben offenen, unten geschlossenen, mit Wasser gefüllten cylinderförmigen Blechgefäss B, in das ein anderes oben verschlossenes, unten offenes, von etwas kleinerem Umfang, B_1, eingestülpt ist. Von aussen führt eine Röhre R R durch den Boden des ersten Gefässes aufwärts bis unter den Deckel des zweiten. Bläst man von aussen Luft hinein, so steigt das innere Gefäss, das mit zwei Gewichten $G G_1$, die an den Fäden über die Rollen K und K_1 hängen, äquilibrirt ist, in die Höhe. Statt der zwei Gewichte ist an manchen Apparaten auch nur eins angebracht, das über eine Rolle geht. Ein an dem inneren Gefäss angebrachter Zeiger zeigt an einer Skala direct das Volum der Luft an, die hineingeblasen ist. In dem Deckel des zweiten Cylinders befindet sich ein durch Hahn verschliessbares Loch L zum schnellen Herauslassen der Luft nach der Messung.

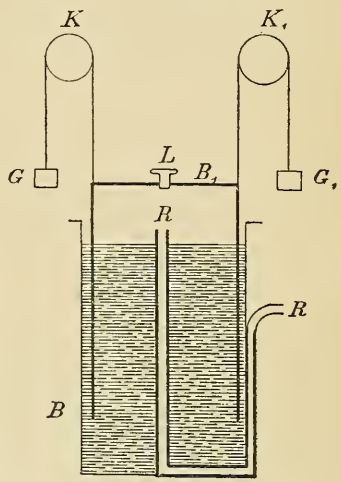


Fig. 150.

Versuch. 1. Man inspirire so tief und angestrengt, wie möglich, halte danach das an der Röhre R befindliche Mundstück an den Mund und blase die ganze eingeathmete Luft bis zur tiefsten Exspiration in das Spirometer hinein. Man achte darauf, dass während dessen nicht Luft aus der Nase nach aussen entweicht. Nun verschliesst man die Zuleitungsröhre R durch einen an ihr angebrachten Hahn und liest an der Skala das eingeblasene Volum ab.

Dieses Volum entspricht nicht genau dem Volum, das die Luft in der Lunge hatte, weil ihre Temperatur und Wasserdampfspannung sich geändert hat. Das Volum der Luft in der Lunge ist zu berechnen nach der Formel

$$x = v \cdot \frac{(1 + 0{,}003665 \cdot 37)}{(1 + 0{,}003665 \cdot t)} \cdot \frac{(b - b_{t^0})}{(b - b_{37^0})},$$

worin v das im Spirometer gemessene Volum, b der Barometerstand, t die Temperatur der Luft im Spirometer in Graden Celsius, b_{37^0} die Wasserdampfspannung für 37° C., b_{t^0} die Wasserdampfspannung für t^0 C. ist.

Das erhaltene Volum ist die sogenannte **Vitalcapacität.**

2. Man führt eine normale ruhige und ungezwungene Inspiration aus und bläst danach alle Luft bis zur forcirten Exspiration ins Spirometer aus und misst sie. Subtrahirt man das so erhaltene Volum von der Vitalcapacität, so erhält man die sogenannte **Complementärluft**, d. i. das Luftvolum, das auf der Höhe einer ruhigen Inspiration durch eine unmittelbar darauf folgende forcirte Einathmung noch aufgenommen werden kann.

3. Man athmet nach einer ruhigen Exspiration noch Luft bis zur forcirten Exspiration in das Spirometer aus. Das so erhaltene Volum ist die **Reserveluft.** Vitalcapacität minus Reserveluft und Complementärluft ergiebt die **Respirationsluft**, d. i. das Luftvolum, das bei ruhiger Ein- und Ausathmung aufgenommen oder ausgegeben wird.

Will man längere Zeit hindurch bei ruhiger Athmung die Athemgrösse messen, so geschieht das mit Gasuhren. Man lässt entweder die inspirirte oder die exspirirte Luft durch eine Gasuhr gehen. Das geathmete Volum ist nach Beendigung des Versuchs direct an der Gasuhr abzulesen. Bei einem solchen Versuch müssen Inspirationsluft und Exspirationsluft durch besondere Ventile von einander getrennt werden. Solche Ventile sind z. B. die Müller'schen Ventile, d. s. kleine Spritzflaschen, die die Luft bloss in einer Richtung hindurch lassen. Sie werden mit Quecksilber bei Menschen und grossen Thieren, mit Wasser bei kleinen Thieren gefüllt. Zwei Müller'sche Ventile werden mit einander verbunden durch eine Leitung, in die ein Gabelrohr eingeschaltet wird, dessen freier Schenkel mit den Luftwegen in Verbindung gesetzt wird. Bei der Inspiration geht die Luft durch das eine Ventil in die Athemwege hinein, bei der Exspiration durch das andere hinaus. Zur Messung der Inspirationsluft wird die Gasuhr vor dem ersten Ventil angebracht, so dass die Inspirationsluft erst durch sie hindurch muss und dann ins Ventil kommt. Zur Messung der Exspirationsluft wird die Gasuhr hinter dem zweiten Ventil angebracht.

LVI. Kapitel.

Registrirendes Spirometer. Aeroplethysmograph von Gad.

Princip. Man denke sich beim Hutchinson'schen Spirometer das bewegte Innengefäss mit einem Zeichner in Verbindung, der seine Bewegungen aufschreibt. Das bewegte Innengefäss muss

dazu eine Führung haben, damit der Zeichner der Schreibfläche immer gut anliegt und nicht ungetreue Bilder giebt, die durch die seitlichen Schwankungen des Innengefässes bedingt sind.

Beim **Gad'schen Aeroplethysmographen** ist dieser Anforderung so genügt (siehe Fig. 151):

Die beiden Gefässe sind nicht cylindrisch, sondern stellen viereckige Kasten dar, die genau in einander passen. Eine der oberen Kanten des inneren Kastens K_1 ist fest verbunden mit einer Axe A, um die sich nun das ganze innere Gefäss (in der Pfeilrichtung, siehe Fig. 151) beim Ein- und Ausblasen von Luft durch

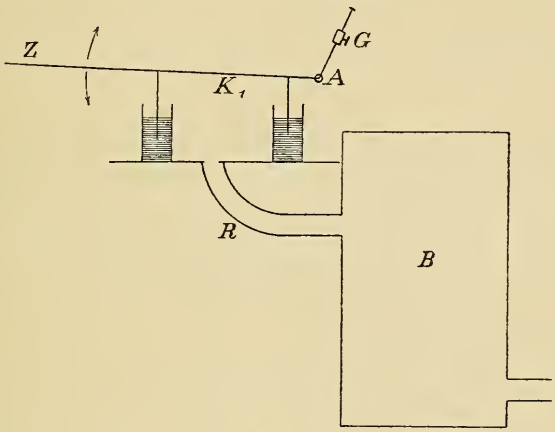


Fig. 151.

die Röhre R dreht. Das innere Gefäss ist, um leichte Bewegung zu gestatten, möglichst leicht gemacht aus ganz dünnem Kupferblech oder Glimmerplättchen, und durch ein Gewicht G, das an der anderen Seite der Axe befestigt ist, äquilibrirt. Auf den Deckel des Gefässes ist der Zeichenhebel Z befestigt. Die leichte Beweglichkeit des Apparates ermöglicht es, in ihn ein- und auszuathmen ohne besondere Anstrengung. Der Apparat hat eine den Versuchspersonen oder -thieren entsprechende Grösse.

Zum Gebrauch ist der Apparat noch zu graduiren. Man bläst in ihn ein genau gemessenes Luftvolum hinein und misst den Ausschlag des Zeichners. Solche Versuche macht man mehrere mit verschieden grossen Volumina. Aus den erhaltenen Daten berechnet man, wie gross das Volum für den Ausschlag von 1 mm ist und benutzt die erhaltene Zahl zur Auswerthung der Curven.

Das Einblasen des genau gemessenen Luftvolums geschieht aus einer unten tubulirten Flasche, deren obere Oeffnung mit dem Volumschreiber verbunden ist; in die untere Oeffnung kann aus einer anderen Flasche Wasser eingelassen und in Folge dessen Luft aus der tubulirten Flasche in den Plethysmographen verdrängt werden. Die Flaschen sind graduirt, so dass man das eingeführte Volum des Wassers und somit das verdrängte Luftvolum direct ablesen kann.

Will man mit dem Athemvolumschreiber einen länger dauernden Versuch machen, so schaltet man zwischen ihm und Versuchsperson oder -thier noch einen grossen Luftbehälter (B, Fig. 150, für Kaninchen etwa eine 5 l-Flasche) ein, weil sonst die einzuathmende Luft zu schnell arm an Sauerstoff und reich an Kohlensäure würde und dadurch die Respiration gestört werden könnte.

Handelt es sich nicht um absolute Bestimmungen der Athemgrösse, sondern um Versuche, in denen nur die Veränderungen der Athemstärke festzustellen sind, so kann man sich auch einfacherer Vorrichtungen zur Registrirung bedienen. Solche sind:

1. Statt des Plethysmographen bringt man als registrirende Vorrichtung mit dem Luftbehälter nur eine Marey'sche Registrirtrommel in Verbindung.

2. Man führt eine Schlundsonde oder ein Glasrohr in die Speiseröhre ein, so weit, dass ihre Oeffnung sich im hinteren Mediastinum befindet. Die Schlundsonde wird in Verbindung gesetzt mit einer Marey'schen Schreibkapsel. Es empfiehlt sich nach der Einführung der Röhre etwas Luft hineinzublasen und sie erst dann mit der Schreibkapsel zu verbinden.

Letzteres Verfahren ist nicht absolut sicher, weil durch Oesophaguscontractionen die Sondenöffnung verschlossen werden kann oder Bewegungen in der Luftleitung erzeugt werden können, die nichts mit den Athembewegungen zu thun haben und daher ungetreue Curven liefern. Streng genommen ist nur bei gelähmtem Oesophagus, z. B. nach Vagusdurchschneidung, die Methode zulässig.

In den Fällen, wo die Apparate luftdicht mit den Luftwegen verbunden sein müssen — d. i. bei Verwendung des Aeroplethysmographen und bei der ersten Art der Verwendung der Marey'schen Schreibkapsel, wird diese Verbindung entweder so vorgenommen:

1. dass man dem Thiere eine luftdicht anschliessende Maske auf das Gesicht aufsetzt, die mit der Leitung zum Registrirapparat verbunden ist. Beim Menschen lässt sich auch eine solche Athemmaske verwenden oder die Verbindung durch ein Mundstück herstellen;

2. oder man bindet dem Versuchsthiere eine Glascanüle in die Trachea ein, die durch Gummischlauch mit dem Registrirapparat verbunden wird. Letzteres Verfahren ist bei Thieren das sicherste.

Der Versuch der Registrirung der Athemgrösse wird mit dem im LVIII. Kapitel beschriebenen verknüpft.

LVII. Kapitel.

Registrirung der Druckänderung in den Athemwegen oder der Geschwindigkeit des Ein- und Austretens der Luft.

Unter Umständen kann es von Vortheil sein, bloss die Druckänderung in den Athemwegen festzustellen oder die Geschwindigkeit, mit der die Luft bei der Athmung ein- und austritt. Das Princip, nach dem dies registrirt wird, ist ähnlich wie das der Tachographie bei den Volumänderungen des Arms.

Die Athemwege sind in Verbindung mit einer Marey'schen Schreibkapsel, aber diese Verbindung ist nicht geschlossen, sondern an einer Stelle offen, so dass die Luft nach aussen austreten oder von da eintreten kann. Das geschieht so, dass man entweder

1. den Verbindungsschlauch zur Schreibkapsel in ein Nasenloch steckt, während das andere frei bleibt,

2. oder sicherer noch so, dass eine Trachealcanüle dem Versuchsthier eingelegt ist und in die Leitung ein T-Rohr eingeschaltet wird, von dem ein Schenkel offen ist.

Die Marey'sche Trommel giebt nur dann Ausschläge, wenn der Druck in der Leitung sich ändert, und zwar um so stärker, je stärker die Druckänderung ist. Da die Geschwindigkeit des Ein- und Austritts der Luft ceteris paribus um so grösser ist, je grösser der Druck in den Athemwegen, so sind die erhaltenen Curven auch Geschwindigkeitscurven.

Je enger die Oeffnung nach aussen ist, je enger z. B. bei Benutzung einer T-Röhre das freie Röhrenende ist, desto grössere Ausschläge giebt die Trommel an, weil die Druckänderung um so grösser wird, je grössere Widerstände die Luft beim Ein- und Austreten überwinden muss. Daraus ergiebt sich aber nicht, dass man die Oeffnung möglichst eng machen muss. Denn je enger die Oeffnung, desto mehr Zeit ist auch erforderlich zum Ausgleich der Druckdifferenzen innen und aussen, desto mehr nähert sich die erhaltene Curve dem Plethysmogramm. Bei enger Oeffnung erhält man also Curven, die von den Geschwindigkeitscurven der normalen Athmung erheblich verschieden sind.

In Betracht kommt bei diesem Verfahren auch der Winkel, den die zur Registrirtrommel abgehende Leitung mit der Leitung, durch die die Luft strömt, bildet, weil der Ausschlag der Registrirtrommel nicht nur vom Druck, sondern auch von der Bewegung der Luft abhängt. Je mehr die Bewegungsrichtung der Luft mit der Richtung der Leitung zur Kapsel zusammenfällt, desto grösser wird der Ausschlag. Bilden dagegen die beiden Richtungen einen stumpfen Winkel mit einander, so kann im Gegentheil sogar bei der Ausathmung Luft aus der Leitung zur Trommel herausgesaugt, also bei der Druckerhöhung in den Athemwegen vom Zeichner eine Druckverminderung angegeben werden

Wenn man bei derselben Anordnung statt der Marey'schen Registrirtrommel ein Manometer (am besten Wassermanometer, weil der Druck gering ist) mit dem einen Schenkel des T-Rohrs verbindet, so kann man an dem Manometer die respiratorischen Druckschwankungen in den Luftwegen absolut bestimmen.

LVIII. Kapitel.

Versuche über den Einfluss des Nervensystems auf die Athembewegungen.

Operation und Aufstellung zum Versuch. Bei einem narkotisirten, in Rückenlage aufgebundenen Kaninchen wird in die Trachea eine Canüle eingelegt (siehe Kapitel XLVII); ferner werden die beiden Nervi vagi auf eine Strecke hin am Halse freigelegt und Fäden unter ihnen durchgezogen, an denen sie leicht zu weiteren Eingriffen emporgezogen werden können.

Zur Registrirung der Athembewegungen eignet sich hier am besten der Aeroplethysmograph. Hat man diesen nicht zur Verfügung, so wende man die Marey'sche Kapsel mit Luftvorlage an. Auch der Phrenograph ist brauchbar. Weniger empfehlenswerth sind die Oesophagussonde und die Registrirung der Geschwindigkeit; besonders die letztere lässt einige in dem Versuche zu beobachtende Erscheinungen — Stillstände der Athembewegungen in Inspirations- oder Exspirationsstellung — nicht er-

kennen. Registrirt wird auf die Kymographiontrommel. Zeitschreibung mit Baltzar's Uhr.

In dem Falle, wo die Athemwege nicht direct mit dem Registrirapparat verbunden sind (Oesophagussonde, Phrenograph), dient die Trachealcanüle nur der künstlichen Athmung, die in den Versuchen vorgenommen werden muss.

Damit bei den Methoden, wo die Athemwege mit dem Registrirapparat zu verbinden sind, auch künstliche Athmung eingeleitet werden kann, wird hier die Trachealcanüle zunächst durch ein kurzes Stück Gummischlauch verbunden mit einem Gabelrohr, von da führen Gummischläuche einerseits zum Registrirapparat, anderseits zum Blasebalg für die künstliche Athmung. In letzteren

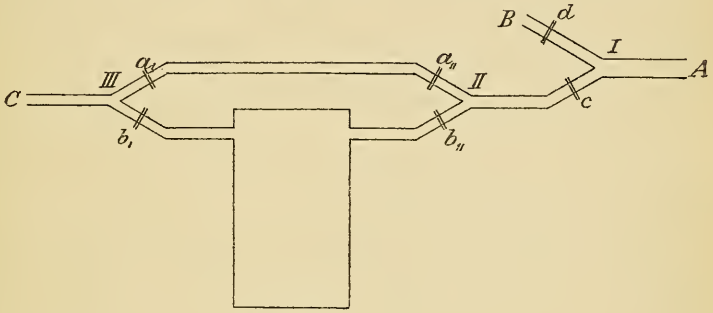


Fig. 152.

Gummischlauch, der genügend weit sein muss, ist nahe dem Gabelrohr das für die künstliche Athmung nöthige Loch eingeschnitten, aber so, dass zwischen Gabelrohr und Loch noch eine Klemmpincette angelegt werden kann, durch die die Leitung im Bedarfsfalle nach aussen abgesperrt wird. Eine andere Klemme wird bereit gehalten, um, wenn nöthig, den Gummischlauch zwischen Gabelrohr und Registrirapparat zu schliessen.

Falls man den Aeroplethysmographen verwendet, legt man neben der Leitung durch die Luftvorlage noch eine zweite Leitung von dem Gabelrohr an der Trachealcanüle (I des Schemas, Fig. 152) zum Volumschreiber an, bestehend in einem engen Gummirohr. Zu dem Zwecke müssen noch zwei weitere Gabelrohre eingeschaltet werden, das eine (III) nahe am Volumschreiber, das zweite (II) nahe dem Gabelrohr I. A (Fig. 152) wird verbunden mit der Trachea, B mit dem Blasebalg, C mit dem Volumschreiber. Durch Anlegen von Klemmen entweder bei a, und a,, oder bei b, and b,,

lässt sich bald die Luftvorlage, bald der Schlauch in die Leitung von der Trachea zum Volumschreiber einschalten.

Es gibt übrigens besondere Gabelrohre mit Dreiwegehähnen, die es gestatten, die Luft bald durch den einen, bald durch den anderen Arm der Gabel durchzuleiten. Verwendet man solche, so fallen alle die Klemmpincetten weg.

Man halte ferner bereit: Schlitteninductor, Gummiballonspritze, Flasche mit Ammoniaklösung, sowie eventuell die unter Nr. 5 angegebenen Utensilien zur Abkühlung des Vagus.

Die Versuche, die man anstellt, sind folgende:

1. Bei Anwendung des Volumschreibers: b_1, b_2 und c sind offen, a_1, a_2 und d werden zugeklemmt. Man verzeichnet einige normale Athemcurven auf die Kymographiontrommel. Das Thier athmet durch die Luftvorlage.

Das Analoge geschieht bei Verwendung der anderen Registrirapparate.

2. b_1, b_2 werden zugeklemmt, zunächst auch noch c, dagegen sind a_1 und a_2, sowie d offen.

Nun vollführt man etwa eine Minute hindurch künstliche Athmung und zwar so stark, wie es eben geht, ohne dem Thier zu schaden. Danach nimmt man möglichst schnell die Klemme von c weg und legt sie bei d an. Die Trommel ist während dessen auch schon in Gang gesetzt. Die Athmung ist schwächer als in der Norm, ja sie kann ganz ausbleiben. Man bezeichnet diesen Zustand der Athemruhe nach guter Auslüftung der Lungen als **Apnoë**. Das hält einige Zeit an, wartet man, so nimmt allmählich die Athemstärke wieder zu bis zur normalen Stärke. Das Thier athmet jetzt nicht durch die Luftvorlage, sondern durch den Gummischlauch zwischen a_1 und a_2.

In entsprechender Weise wird die Apnoë auch bei Anwendung der anderen Registrirvorrichtungen erzeugt, nur dass hier während der Registrirung das Thier in die Luftvorlage resp. ins Freie athmet.

Den Zustand der Apnoë kann man auch an sich selbst beobachten. Wenn man mehrere Male schnell hinter einander sehr tief ein- und ausathmet und danach den Athem anhält, so nimmt man wahr, dass man längere Zeit hindurch gar kein Athembedürfniss hat, als ohne vorherige tiefe Athmung.

3. Bei Anwendung des Plethysmographen und der beschriebenen Anordnung lässt man ohne weitere Eingriffe die Athmung

weiter gehen. Es verarmt nun die Luft in der engen Leitung schnell an Sauerstoff und wird reich an Kohlensäure, und damit wird die Athmung immer stärker, die Athemzüge tiefer und auch oft zahlreicher — es ist dies der Zustand der Dyspnoë —, bis schliesslich die Athmung unregelmässig wird. Weiter darf man es mit der Erstickung nicht kommen lassen: man nimmt nun am besten die Leitung ganz von der Trachealcanüle ab, so dass das Thier direct ins Freie athmen kann und sich wieder erholt.

Verwendet man die Marey'sche Trommel mit Luftvorlage, so kann man die Nebenleitung durch den Gummischlauch nicht anbringen; denn würde man durch dieselbe das Thier athmen lassen, so würden die Ausschläge schon bei normaler Athmung grösser sein, als bei Athmung durch die Luftvorlage, weil die Druckänderungen in der engen Leitung grösser sein würden, als in der grossen Luftvorlage. Wenn man aber warten wollte, bis die Luft in der Luftvorlage an Sauerstoff arm und an Kohlensäure reich sein würde, so würde man zu viel Zeit brauchen. Hier macht man den Versuch über Dyspnoë umgekehrt. Man erzeugt erst die Dyspnoë dadurch, dass man die Verbindung zwischen Gabelrohr und Luftvorlage schliesst. Nun ist die Athmung gehindert, denn der Gummischlauch, der zur künstlichen Athmung dient, bleibt dicht an dem Gabelrohr zugeklemmt. Ist die Dyspnoë eingetreten, so öffnet man die Klemme bei c — die Athmung wird registrirt —, sie erscheint nun gegen die Norm verstärkt und geht allmählich in die normale über.

Auch bei Verwendung des Phrenographen, der Oesophagussonde oder bei Registrirung der Geschwindigkeit muss man die Dyspnoë zunächst durch Behinderung der Athmung erzeugen, ehe man sie zu registriren anfängt. Während man sie registrirt, athmet das Thier ins Freie und kommt allmählich wieder in den Zustand der normalen Athmung.

4. Man richtet wieder alles zur Registrirung der normalen Athmung her, lässt die Trommel laufen und bläst, während das Thier normal athmet, mit Hilfe der Gummispritze in ein Nasenloch etwas ammoniakhaltige Luft ein, die man vorher aus der Ammoniakflasche in die Spritze eingesaugt hatte. So gelangen Ammoniakdämpfe in die Nase. Die Athmung wird für einige Zeit sistirt in Exspirationsstellung des Thorax. Diese Wirkung beruht auf einem Reflex, der von den sensiblen Endigungen des Trigeminus in der Nase ausgeht.

5. Während das Thier wieder normal athmet, schlingt man nach einander beide Vagi möglichst weit unten an und durchschneidet sie unterhalb der abgebundenen Stelle: die Athemzüge werden seltener und tiefer.

Da durch das Anbinden und Durchschneiden der Vagi nicht immer gleich der Vaguseinfluss ausgeschaltet wird, weil der Schnitt als Reiz wirken kann, so kann man auch besser zur Ausschaltung der Vagi Abkühlung der frei gelegten Nerven anwenden. Die Nerven werden auf Eisstücke gelegt oder auf die dünnen Deckel eines Kästchens, durch das man Eiswasser durchleitet. Der Effect ist derselbe, wie der bei Vagusdurchschneidung beschriebene.

6. Nun reize man den centralen Stumpf eines der durchschnittenen Vagi oder — bei Abkühlung — eine Stelle, die centralwärts von der ausgeschalteten Stelle liegt, und zwar nach einander mit verschiedenen Reizstärken in der üblichen Weise mit dem Inductionsapparat.

Man erhält Veränderungen der Athemthätigkeit, die aber nichts Typisches zeigen, und die daher hier auch nicht näher beschrieben werden können.

V. Abschnitt.

Speichelsecretion und Peristaltik.

LIX. Kapitel.

Versuche über Speichelsecretion beim Hunde.

Es ist zu empfehlen, sich erst durch anatomische Präparation an einem todten Thiere mit der Anatomie der in Betracht kommenden Theile bekannt zu machen und auch die Operation an der Leiche einzuüben.

Zum Befestigen des Hundes dient ein passend hohles Lager, an den Rändern mit Löchern versehen zum Durchstecken und Festbinden der Stricke, die die Extremitäten festhalten. Der Kopf wird fixirt, indem man ins Maul hinter die Zähne einen Knebel, etwa einen runden Eisenstab schiebt, den man mit Achtertouren um die Schnauze befestigt und dann am Gestell festbindet. Zur Narkose des Hundes empfiehlt sich eine subcutane Injection von Morphium in 1procentiger Lösung, etwa 0,01 g auf 1 kg Thier. Nachher kann man mit Chloroform nachhelfen, das man mittels der Chloroformmaske den Hund einathmen lässt.

Man halte zu dem Versuche bereit: einen kleinen Messcylinder, etwas Essig, Pipette oder Spritze, Schlitteninductor, ein kleines Quecksilbermanometer, Gummischlauch und Glasröhrchen, Speichelgangcanüle.

Operation. Nach Entfernen der Haare: Hautschnitt, 4—5 cm lang, parallel dem Innenrand des mittleren Theils des Unterkiefers, 1 cm von demselben entfernt. Der Schnitt wird durch das subcutane Bindegewebe und Platysma durchgeführt und der Musculus digastricus aussen und Mylohyoideus innen frei gelegt.

Der Musculus digastricus wird in der Mitte durchschnitten, der vordere Theil (M, Fig. 153) nach oben umgeschlagen, der hintere mit Haken hervorgezogen, von den darunter liegenden Theilen isolirt und dann an seinem Ursprung von Neuem abgetrennt. Blutungen werden gestillt. Die Durchschneidung des Digastricus kann auch ganz vermieden werden, wenn man ihn

nach aussen vorsichtig und schichtweise gegen den Unterkiefer zu schiebt.

Nun durchschneidet man den Musculus mylohyoideus (s s, Fig. 153) durch einen Schnitt in der Richtung des Hautschnitts, etwas mehr nach aussen, zieht die Schnittenden aus einander und löst den Muskel von den darunter liegenden Organen ab. Man sieht den Lingualis trigemini L., der von aussen hinten nach innen vorn zieht und die Ausführungsgänge der Speicheldrüsen (Submaxillaris und Sublingualis) a, und a„ kreuzt. Die Ausführungsgänge verlaufen parallel dem Hautschnitt, der grössere (Ductus

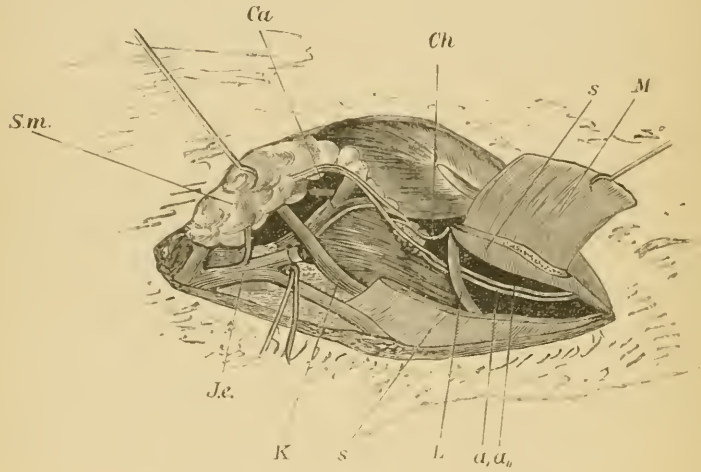


Fig. 153 (nach Claude Bernard).

M: Musculus digastricus. s s: Musculus mylohyoideus, S. m.: Glandula submaxillaris. a, a„: Ausführungsgänge der Speicheldrüsen. L: Nervus lingualis. Ch: Drüsenast des Lingualis. K: Nervus hypoglossus. J. e.: Vena jugularis externa (der Strich zeigt auf den aus der Submaxillaris kommenden Ast). Ca: Arteria carotis.

Whartonianus) liegt nach aussen. Er wird freigelegt und zugebunden, damit er durch Ansammeln von Speichel anschwillt. Dann wird eine eigens dazu construirte feine Glas- oder Metallcanüle in ihn eingeführt in der Richtung nach der Drüse zu und eingebunden in derselben Weise, wie die Canülen in die Gefässe eingebunden werden. Die Canüle wird durch einen feinen Gummischlauch mit einem Ausflussröhrchen aus Glas verknüpft, aus dessen freier Oeffnung der Speichel nun auslaufen kann.

Nun wird der die Chordafasern enthaltene Ast des Lingualis zur Unterkieferdrüse aufgesucht. Man verfolgt den Lingualis von innen nach aussen bis zu dem Punkt, wo man von ihm aus eine

feine Nervenfaser (Ch) nach hinten gegen den Ursprung des Ductus Whartonianus aus der Drüse hin verlaufen sieht. Dies ist die gesuchte Faser. Sie wird isolirt und unter ihr ein Faden durchgezogen.

Der Speichel, der aus dem Abflussrohr ausfliesst, wird aufgefangen in einem Messcylinder. Man macht nun nach einander folgende Versuche:

1. Man bringt auf die Schleimhaut der Zunge mit Hilfe eines Stabes, einer Pipette oder einer Spritze etwas Essig — es wird danach die Speichelsecretion (durch Reflexvorgang) verstärkt.

2. Man schlingt die Chorda tympani so nahe wie möglich am Abgang vom Lingualis an und durchschneidet sie. Nun hört die Speichelsecretion auf: Einführen von Essig in den Mund hat keinen Effect mehr.

3. Man zieht den peripheren Stumpf der Chorda an dem Faden aus der Wunde hervor, legt ihm den Reizelektroden auf und reizt ihn kurze Zeit in bekannter Weise: die Secretion wird verstärkt.

4. Man verbindet das Ende des Abflussrohrs durch Gummischlauch mit einem Quecksilbermanometer und reizt wieder. Der Druck im Drüsengange nimmt zu, was an dem Manometer zu sehen ist. Man bestimme den grössten erreichten Druck.

Betreffs der Technik der Speichelversuche sei verwiesen auf:

Cl. Bernard, Leçons de physiologie expérimentale, Paris 1856 und Leçons sur les propriétés physiologiques et les altérations pathologiques des liquides de l'organisme, Paris 1859.

LX. Kapitel.

Peristaltik.

Bei einem narkotisirten Kaninchen wird ein Vagus freigelegt, dann die Bauchhöhle durch Einschnitt in die Linea alba eröffnet und ein Stück Darm aus der Wunde hervorgezogen.

Man beobachte die Bewegungen von Magen und Darm. Damit durch Abkühlung und Vertrocknen des Darms diese Bewegungen nicht verändert werden, berieselt man den freigelegten Darm aus einem Irrigator mit 0,6procentiger Kochsalzlösung von 37 ° Celsius.

Partielle Reizung des Darms mit darauf folgender verstärkter Contraction kann man erhalten, wenn man auf eine Stelle einen Kristall von Glaubersalz auflegt.

Der Vagus wird durchschnitten, der periphere Stumpf in bekannter Weise gereizt: die peristaltischen Bewegungen werden stärker. Der Effect der Vagusreizung gelingt allerdings nicht immer sicher.

Ueber die Methode der Reizung des Splanchnicus und deren Wirkung auf die Peristaltik siehe:

E. Pflüger, Ueber das Hemmungsnervensystem für die peristaltischen Bewegungen der Gedärme, Berlin 1857.

Sachregister.

A.

Accommodationsbreite 190.
Accommodationskraft 190.
Actionsstrom des Muskels 138.
— des Nerven 142.
— des Herzens 214. 230.
Acustischer Stromunterbrecher 48.
Aeroplethysmograph 290.
Amalgamiren des Zinks 28.
Ammoniak, Wirkung auf Nerv und Muskel 12. 13. 14.
Ampère 18.
Ampère's Regel 18.
Anästhesiren des Kaninchens 229.
— des Hundes 299.
Anode, Erregung des Nerven an der 120.
Anschlagzuckung 92.
Apnoë 296.
Arbeitsdiagramm 89.
Arbeitsleistung des Muskels 87.
— der Flimmerbewegung 151.
Arbeitssammler von Fick 104.
Arterieller Blutdruck des Kaninchens 268.
— — des Hundes 273.
— — des Menschen 275.
Astatische Nadel 125.
Astasirung bei Wiedemann's Bussole 128.
Athembewegungen, Abhängigkeit vom Nervensystem 294.
Athmung, künstliche 269.
Aufbewahren der Frösche 1.
Aufnahmekapsel für den Spitzenstoss 234.
Aufnahmekapsel für den Puls 244.
Augenleuchten 198.
Augenspiegel 198.

B.

Baltzar's Uhr 76.
Batterie, elastische 18.
Bayonnetelektroden 33.
Berussen des Schreibpapiers 73.
Biceps des Frosches 4.
Blinder Fleck 203.
Blix' Myographion 101.
Blutdruck 262.
— beim Hund 273.
— beim Kaninchen 268.
— beim Menschen 275.
Brustkorb, Formveränderung bei Athmung 285.
Bussole, Tangenten- 127.
— Wiedemann's 127.

C.

Canülen 221.
Capillarelektrometer 128. 137.
Capillarer Blutdruck des Menschen 275.
Carotis des Kaninchens 257. 258. 271.
Chemische Reizung 12. 13.
— — der Herzspitze 213.
Chorda tympani, Einfluss auf Speichelsecretion 299.

Chromsäureelement 29.
Chronoskop von Hipp 169.
Circulation, mikroskopische Beobachtung der 205.
Commutator, Pohl's 26.
Compensationsmethode 133.
— Graduirung der Vorrichtung 136.
Compensator, runder 136.
Complementärluft 290.
Condensator, Reizung mit 51.
Constante Elemente 28.
Constanter Strom 17.
— — Wirkung auf Nerv 33. 115.
— — — auf Muskel 39. 97.
Contractionswelle 112.
Curare 14.
— subcutane Injection beim Frosch 14.
— intravenöse Injection beim Frosch 15.
— — — — Kaninchen 268.
Cylindermyographion 65.

D.

Daniell's Element 28.
Dehnungscurve des Muskels 100.
Depressor, Nervus 257. 272.
Doppelsemimembranosus und -gracilis 8.
Doppelsinnige Nervenleitung 146.
Doppelwegcanüle von Kronecker 218.
Druckänderung in den Athemwegen 293.
Druckpulse 239.
Dyspnoë 297.

E.

Einschleichen des Stromes 37.
Elastische Manometer 262.
Elektrische Reizung 12. 13. 33. 36. 39. 41.
— — des Herzens 213.
Elektrische Signale 75.
Elektroden 31. 43.
— unpolarisirbare 31.
Elektrolyse 29.
Elektromotorische Eigenschaften thierischer Gewebe 124.
Elektromotorische Kraft 18.
— Messung 133. 137.
Elektrotonus 115.
— mit elektrischer Reizung 115.
— mit chemischer Reizung 119.
Elemente 18. 28.
— constante 28.
Ergograph von Mosso 109.
Erholung 95. 108.
Ermüdung 95. 108.
Erregbarkeitsänderung im Elektrotonus 115.
Erregbarkeit, directe des Muskels 14.
— und Leitungsfähigkeit des Nerven 147.
Erregung an der Anode 120.
— an der Kathode 120.
Erregungsgrösse des Nerven, abhängig von Strom- und Faserrichtung 80.
Exstirpation des Vorderhirns beim Frosch 154.
— des ganzen Gehirns beim Frosch 156.

F.

Fallversuch mit Hipp's Chronoskop 170.
Federmanometer 262. 264.
Federmyographion 70.
Fernpunkt 191.
Feuchte Kammer 78.
Fixiren der Zeichnungen 72.
Flammentachograph 247.
Flimmerbewegung 150.
Flimmeruhr und -mühle 152.
Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Nervenleitung 109.
— der Contractionswelle 112.
Frosch, Aufbewahren 1.
— Lymphherzen 281.
— Medulla oblongata 278.
— mikroskopische Beobachtung des Kreislaufs 205.
— Tödten 2.
— Vagus 278.
Froschherz 209.
— künstlicher Kreislauf durch das 220.
Froschhirn 154.
Froschschädel 153.
Froschschenkel, Anatomie 1.
— Enthäuten 2.
— stromprüfender 5. 124.

G.

Galvanometer 18. 125.
Gastrocnemius des Frosches 4. 7.
Gefässschattenfigur 204.

Gehirn des Frosches 154.
— Exstirpation 156.
Geschwindigkeit des arteriellen Blutstroms 253.
— in den Capillaren 208.
— des Ein- und Austretens der Luft bei der Athmung 293.
Gracilis des Frosches 4. 8.
Graduirung der Compensationsvorrichtung 136.
Grove's Element 28.
Gummimanometer 266.

H.

Hauy'scher Stab 128.
Helmholtz'sche Vorrichtung 47.
Herz, Frosch- 209.
— Kaninchen- 227.
— Ochsen- 225.
Herzklappen 225.
Herztöne 235.
Hintere Wurzeln 161.
Hipp's Chronoskop 169.
Hornhautradius 179.
Hund, Blutdruck im Herzen und in der Aorta 273.
— Anästhesiren 299.
— Festhalten 299.
— Speichelversuch 299.

I.

Induction, elektrische 40.
Inductionsapparat von Du Bois-Reymond 40.
— von Bowditch 41.
Inductionsströme 40. 121.
— Ort der Wirkung 121.
— Reizung mit 41.
— Schliessungs- und Oeffnungsströme, Unterschied der 44.
Intercostales, Wirkung der Musculi 283.
Interruptor, Kronecker's 48.
Intraocularer Druck 174.
Ischiadicus des Frosches 4.
Isometrisches Verfahren 60. 84.
Isotonisches Verfahren 56. 59. 81.

K.

Kammer, feuchte 78.
Kaninchen, Tödten des 178.
Kaninchen, Anästhesiren 229.
— Blutdruck 268.
Kaninchenhals, Anatomie 256.
Kaninchenhalter 227.
Kaninchenherz 227.
Kanülen 221.
Kardiogramm 235.
Kardiograph 231.
Kardiographische Sonden 274.
Kathode, Erregung des Nerven an der 120.
Kette, galvanische 18.
Klappen des Herzens 225.
Klopfversuch 280.
Kniephänomen 160.
Kreislauf, mikroskopische Beobachtung 205.
Künstliche Athmung 269.
Kymographion 67.

L.

Längenzeichner 57.
Lebendige Kraft des Schwunghebels 88.
Leitungsfähigkeit und Erregbarkeit des Nerven 147.
Luftübertragungsverfahren 231.
Lunge des Frosches, Kreislauf in der 206.
Lymphherzen des Frosches 281.

M.

Manometer zur Blutdruckmessung 262.
Maximalzuckung 80.
Mechanische Reizung 11. 13.
Medulla oblongata des Frosches, Reizung 278.
Mensch, Athembewegungen 285.
— Blutdruck 275.
— Herztöne 235.
— myographische Versuche am 107.
—, Puls 239 ff.
—, Spitzenstoss 231.
—, Zuckungsgesetz 123.
Mesenterium des Frosches, Kreislauf im 205.
Metronom zur Zeitschreibung 76. 78.
Metronomcontact 76.
Mikrophon zur Aufnahme der Herztöne 236.
Momentanreize 39.
Multiplicator 125.
Muskel, Arbeitsleistung 87. 104.
— -contraction 13. 39. 41. 45. 79 ff.
— -kraft 108.

Muskel, physiologische Contraction des 108.
— -präparate 5.
— -reizung 13. 39. 48. 108.
— -strom, ruhender 129. 132.
— Actionsstrom des 138.
— Volumen bei der Thätigkeit des 53.
— Wärmebildung des thätigen 149.
Myographion 65. 70. 71. 101.
Myographische Methodik 56.
— Versuche am Menschen 107.

N.

Nahepunkt 191.
Narkose des Kaninchens 229.
— des Hundes 299.
Negative Schwankung 138.
Nerv, Actionsstrom des 142.
— Leitungsfähigkeit und Erregbarkeit 147.
— Leitung, doppelsinnige 146.
— — Fortpflanzungsgeschwindigkeit 109.
— -präparate 5.
— -reizung 10.
— Strom ruhender 131.
Nervmuskelpräparat 7.
Nervus depressor 257. 272.
— ischiadicus des Frosches 4.
Netzhautbild 178.
Neuramöbimeter 167.

O.

Ochsenherz, Klappen des 225.
Oeffnungstetanus 36.
Oesophagussonde zur Athemregistrirung 292.
Ohm 19.
Ohm'sches Gesetz 19.
Ophthalmometer 179.
Ophthalmotonometer 175.
Optogramme 199.
Optometer 190.
— von Scheiner 192.
— von v. Gräfe 195.
Orthorheonom 37.

P.

Pendelmyographion 71.
Pendelunterbrecher von Helmholtz 50.
Perimeter 202.
Peristaltik 301.
Phakoskop 189.
Photographie 251.
Phrenograph 285.
Piston-Recorder 232.
Plethysmograph 245.
Pneumograph 285.
Polarisation 27.
Polarisation beim Nerven 30.
Polspannung 18.
Polygraph 244.
Puls 239.
Pupillenreflex 199.

Q.

Quackversuch 157.
Quecksilbermanometer 262.
Quecksilberschlüssel 26.

R.

Reactionszeit 162.
Reflexe 157.
Reflexhemmung 160.
Reflexmultiplicator 160.
Reflexzeit 157.
Registrirtrommel von Marey 231.
Reizelektroden 43.
Reizstärke, Einfluss auf Erregung 79. 90.
Reizung des Muskels 13.
— des Nerven 10.
Reserveluft 290.
Respirationsluft 290.
Rheochord 21.
— Du Bois-Reymond's 24.
— einfacher 21.
— Pflüger's 23.
Rheonom 36.
Rheoskop, physiologisches 124.
Rheostat 21.
Rheotom 139.
Rückenmarksfunctionen 156.
Russzerstäuber von Hürthle 73.

S.

Sanson-Purkinje'sche Bilder 188.
Sartorius des Frosches 3. 7.
Scheiner's Versuch 192.

Schleuderzuckung 86.
Schlitteninductorium 40.
Schlüssel 25.
Schreibflächen 65.
— bewegte 65.
— feststehende 65.
Schreibhebel 56.
Schreibpapier 72.
— Befestigen des 72.
Schwimmhaut des Frosches, Kreislauf in der 205.
Secundäre Zuckung 142.
— — des Tetanus 142.
Sehpurpur, Sehroth 199.
Semimembranosus des Frosches 3. 8.
Siemenseinheit 19.
Signalschreiber 75.
Spannung, Einfluss auf Contraction 92.
— elektrische 18.
Spannungszeichner 60.
Speichelsecretion 299.
Sphygmograph 239.
Spiegelablesung 127.
Spiegelbilder des Auges 188.
Spirometer 289.
Spitzenstoss 231.
Spülcontact 48.
Stannius'scher Versuch 212.
Stiefelelektroden 32.
Stimmgabel zur Zeitschreibung 74.
Stöpselrheostat 25.
Stromgeschwindigkeit in der Carotis des Kaninchens 253.
Stromlosigkeit unversehrter Muskeln 131.
Stromprüfender Froschschenkel 5.
Strompuls 246.
Stromrichtung 17.
— Bestimmung der 29. 122. 130.
Stromstärke 18.
Stromuhr 253.
Strom- und Faserrichtung im Nerv, Erregungsgrösse, abhängig von 80.
Stromunterbrecher, acustischer 48.
Stromwender 26.
Strychnin 159.
Summation der Zuckungen 97.
Superposition der Zuckungen 97.
Sympathicus 257. 281.

T.

Tachograph 246.
Tangentenbussole 127.
Tauchelement 29.
Temperatur, Einfluss auf Zuckung 91.
Tetanisirschlüssel 25.
Tetanomotor von Heidenhain 11.
Tetanus 48. 97.
—, secundärer 142.
Thermische Reizung 11. 13.
Thorax, Formveränderung bei Athmung 285.
Tonograph 262.
Tracheotomie 269.
Trägheitsmoment des Schwunghebels 88. 90.
Transmissionssphygmograph 244.

U.

Ueberlastungszuckung 90.
Uhr, Baltzar's 76.
Unipolare Inductionswirkung 46.
Unpolarisirbare Elektroden 31.
— Elemente 27.
Unversehrter Muskel, stromlos 131.

V.

Vagus des Kaninchens 257. 272. 298. 302.
— des Frosches 278.
Veratrin 94.
Verfahren zur Aenderung der Stromstärke 19.
Vertrocknungstetanus 13.
Vitalcapacität 290.
Volt 18.
Volumen des thätigen Muskels 53.
Volumpuls 245.
Vordere Wurzeln 161.
Vorderhirn, Frosch, Exstirpation des 154.

W.

Wagner's Hammer 45.
Wärmebildung des Muskels 149.
Wellenzeichner 262.
Wheatstone's Brücke 143.
Widerstand 18.
— von Nerv und Muskel 143.
Widerstandskasten von Siemens 25.
Wiedemann's Bussole 127.
Wippe mit Kreuz 26.

Wippe ohne Kreuz 27.
Wurzeln, vordere 161.
— hintere 161.

Z.

Zeitreize 39.
Zeitschreibung 73 ff.
Zuckung, Anschlag- 92.
— graphische Registrirung der 79.
— isometrische 84.
— isotonische 81.
— Maximal- 79.
Zuckung, secundäre 142.
— Schleuder- 86.
— superponirte, summirte 97.
— Temperatureinfluss der 91.
— Ueberlastungs- 90.
Zuckungsgesetz beim Frosch 33. 118.
— beim Menschen 123.
Zuleitungsgefässe von Du Bois-Reymond 31.
Zunge des Frosches, Kreislauf in der 205.
Zweigströme 19.
— Stromstärke der 19.
Zwerchfell des Kaninchens 284.

QP44 Sch2

Schenck